



UNIVERSITAT  
JAUME•I

**UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS  
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

***DISEÑO DE UN DISPOSITIVO PARA  
MEDICIÓN DE FUERZA DE AGARRE DE  
MANOS ARTIFICIALES***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

AUTOR: Joan Martínez Rubert

DIRECTOR: Antonio Pérez González

**Castellón, Mayo de 2020**



## AGRADECIMIENTOS

*Antes de comenzar, quisiera agradecer a mi director, Antonio Pérez González, por la oportunidad de participar en este proyecto y haberme introducido en el mundo que rodea la biomecánica de la mano. Por su colaboración, consejos y paciencia en las visitas de tutorías, haciendo que haya mejorado notoriamente este proyecto.*

*También quiero agradecer al técnico de laboratorio, Pepe Fuentes, por su ayuda y consejos técnicos durante la elaboración y construcción del dispositivo.*

*Finalmente, me gustaría agradecer el apoyo recibido por parte de mi familia, amigos y compañeros de universidad. Durante varios años, he recibido el apoyo de muchas personas que no han contribuido solo a mi formación como profesional sino también como persona, por ello quiero expresarles mi gratitud por su cariño y confianza.*

*En especial a mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera, además de su ayuda y sacrificio constante. Su entrega ha sido una fuente de inspiración para superar momentos difíciles y situaciones que han supuesto un verdadero desafío a nivel personal.*





# ÍNDICE

MEMORIA .....	7
ANEXOS .....	86
PLIEGO DE CONDICIONES.....	142
PRESUPUESTO .....	149
PLANOS.....	158



# MEMORIA

# ÍNDICE MEMORIA

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
1.1. OBJETO Y ALCANCE .....	10
1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	11
<b>2. FUNCIONES DE LA MANO .....</b>	<b>17</b>
2.1. MODOS DE AGARRE .....	17
2.1.1 PRENSIÓN POR PINZA (PULP PINCH) .....	17
2.1.2 PRENSIÓN POR PINZA LATERAL (KEY PINCH) .....	17
2.1.3 AGARRE CILÍNDRICO (CYLINDRICAL GRIP) .....	18
2.1.4 AGARRE ESFÉRICO (SPHERICAL GRIP) .....	18
2.1.5 AGARRE DE GANCHO (HOOK) .....	18
2.1.6 OTRAS FORMAS DE AGARRE .....	19
2.2. TERMINOLOGÍA .....	20
2.3. CAPACIDADES DINÁMICAS DE LA MANO .....	22
<b>3. DISEÑO CONCEPTUAL .....</b>	<b>24</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	24
3.2. ESPECIFICACIONES .....	24
3.3. FUNCIONES DEL SISTEMA .....	25
3.3.1 FUNCIÓN ESTRUCTURAL .....	26
3.3.2 FUNCIÓN DE ACCIONAMIENTO .....	30
3.3.3 FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN .....	32
3.3.4 FUNCIÓN DE MEDIDA .....	34
3.3.5 FUNCIÓN DE DETECCIÓN .....	35
3.3.6 FUNCIÓN DE CONTROL .....	37
3.3.7 FUNCIÓN DE REGISTRO .....	40
3.3.8 FUNCIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA .....	42
3.3.9 FUNCIÓN INTERFAZ .....	44
3.3.10 PROPUESTAS SELECCIONADAS .....	46
3.4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS .....	48
3.4.1 ALTERNATIVA 1. MÁQUINA UNIVERSAL DE TRACCIÓN .....	48
3.4.2 ALTERNATIVA 2. SISTEMA DE PALANCA .....	50
3.4.3 ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	51

<b>4. DISEÑO DE DETALLE .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. ESTRUCTURA DEL DISPOSITIVO.....</b>	<b>54</b>
<b>4.2. SUBCONJUNTO MOTOR HUSILLO.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3. SUBCONJUNTO PALANCA .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4. SISTEMA DE REGULACIÓN DE ALTURA .....</b>	<b>61</b>
<b>4.5. SISTEMA DE POLEAS.....</b>	<b>63</b>
<b>4.5.1 SISTEMA FIJO.....</b>	<b>63</b>
<b>4.5.2 SISTEMA MÓVIL.....</b>	<b>64</b>
<b>4.6. SISTEMA ELECTRÓNICO .....</b>	<b>65</b>
<b>4.7. OBJETOS .....</b>	<b>70</b>
<b>4.7.1 PRISMAS .....</b>	<b>70</b>
<b>4.7.2 CILINDROS.....</b>	<b>71</b>
<b>4.7.3 ESFERAS .....</b>	<b>72</b>
<b>5. RESULTADO FINAL.....</b>	<b>73</b>
<b>6. PROCESO DE FABRICACIÓN .....</b>	<b>76</b>
<b>7. RESULTADOS ENSAYOS .....</b>	<b>84</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>85</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. OBJETO Y ALCANCE

El presente proyecto, sigue la línea de investigación sobre el estudio de la biomecánica de la mano que desarrolla el grupo de Biomecánica y Ergonomía de la Universidad Jaume I. El objetivo principal, es diseñar un dispositivo capaz de acoplarse a una plataforma ya existente, la cual es conocida como *Plataforma Automática de Control de Manos Antropomorfas y Robóticas* (PACMAR), para la medida de las fuerzas máximas de agarre que puede realizar una mano artificial montada sobre dicha plataforma.

Para evaluar las fuerzas máximas de agarre, se seleccionarán diferentes tipos de agarre y un conjunto de piezas impresas en 3D de diferentes tamaños que simularán objetos de la vida cotidiana, los cuales estarán asociados a cada uno de esos tipos. Por lo tanto, el dispositivo incluirá la regulación necesaria para adaptarse a las diferentes dimensiones de las manos artificiales y de los objetos.

El proyecto, se ha ido desarrollando siguiendo las distintas fases que se deben tener en cuenta en el proceso de diseño de un sistema mecánico. La primera de ellas, parte de una idea inicial de un dispositivo que se pueda utilizar y montar en la plataforma PACMAR ya existente, por lo que ya se utilizan unas dimensiones como referencia para asentar su estructura.

La siguiente fase, se inicia respecto a la investigación de mecanismos con funciones similares, y al estudio previo del campo que alberga, en el que se ha planteado una serie de posibles alternativas, de las cuales se seleccionará una de ella en la fase posterior. Además, se establecen una serie de especificaciones para las consideraciones del diseño conceptual que deberá cumplir.

A continuación, se procede al diseño conceptual donde se desarrollan las bases de cómo va a ser el dispositivo, es decir, se realizan bocetos a mano alzada y diseños en 3D para crear, de manera más visual, la idea del prototipo. Una vez esclarecido el diseño conceptual, se lleva a cabo el diseño al detalle, en el que se concretan las medidas de las diferentes partes del dispositivo, se utiliza un programa en diseño 3D para su modelado y se elabora un análisis estático para calcular las tensiones y deformaciones a las que estará sometido.

Una vez finalizado el diseño, se lleva a cabo su construcción mediante los componentes de cada una de sus partes, en su mayoría elaborados con una impresora 3D, lo que permite verificar los cálculos teóricos con ensayos.

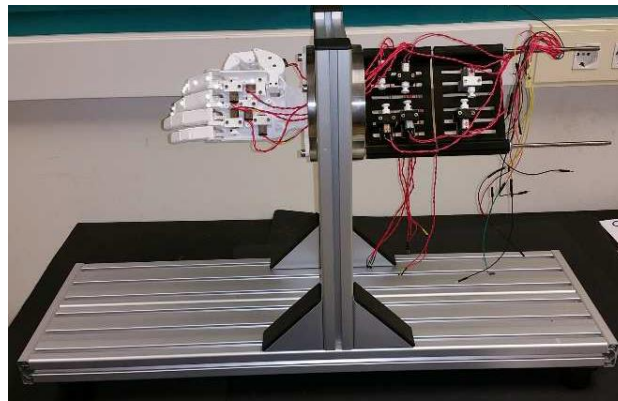
Finalmente, los documentos posteriores permiten contrastar las diferentes fases por las que ha ido evolucionando el proyecto hasta el resultado final, además de la información y datos necesarios para su composición.

## 1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El grupo de investigación de Biomecánica y Ergonomía, realiza labores en relación a cinco principales ámbitos de estudio: la biomecánica de la mano humana, biomecánica dental, ingeniería emocional, ergonomía de las herramientas manuales y la biomecánica de la rodilla. [1]

En relación con la investigación sobre la biomecánica de la mano, ésta lleva a cabo diferentes proyectos. Destaca, entre ellos, aquel que tiene relación directa con el objetivo de este proyecto, conocido como *BENCH-HAND*, en el que se desarrollan equipos, protocolos y métricas para la evaluación de manos artificiales. Además, su principal objetivo es el de diseñar modelos mejorados de manos robóticas de servicio y prótesis de manos transradiales motorizadas de bajo coste.

Una vez conocida la finalidad de este proyecto, se menciona la plataforma que se ha desarrollado para realizar ensayos en todo tipo de manos, denominada PACMAR. (Figura 1)



*Figura 1. PACMAR con mano artificial*

Características del PACMAR:

- Sistema dividido en dos elementos principales: chasis y brida para la sujeción de manos, y la mecatrónica (Figura 2). Esto permite la independencia entre la zona donde se sitúa la mano y los gadgets para los diferentes ensayos.
- La brida de anclaje y la tapa de soporte permiten fijar una configuración de posicionamiento de la mano en las tres dimensiones del espacio, así como la orientación de la muñeca en los diferentes agarres.
- El chasis de perfilaría de aluminio es conjunto de perfiles ranurados que permiten el anclaje y fijación de elementos caracterizando, así, la plataforma de flexibilidad y versatilidad, con la intención de implementar nuevos ensayos que se requieran.
- Los soportes para manos y electromecánica, están compuestos por anclajes que se adaptan a la brida de forma sencilla y a su construcción.

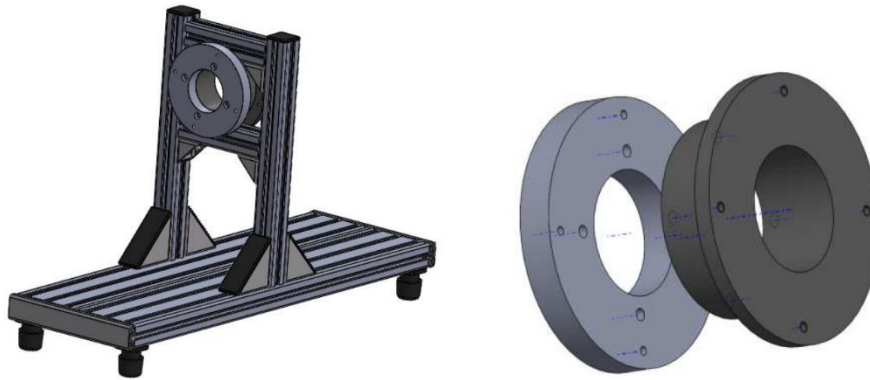


Figura 2. Plataforma PACMAR con Chasis, Brida y Tapa Soporte

Aparte del proyecto previo, destaca otro que está relacionado con la metodología de estudio, conocido como *DEVALHAND*, el cual se basa en el desarrollo de métricas y metodologías que permiten evaluar los diseños de las manos protésicas y optimizarlas. Además, se utiliza para el desarrollo de nuevos diseños de prótesis de bajo coste.

Siguiendo la línea de *DEVALHAND* se mencionan las siguientes manos que se han desarrollado:

- **Mano IMMA (IMMA Hand)**

La mano IMMA es una prótesis antropomórfica impresa en 3D de bajo costo. Esta mano presenta 6 grados de libertad y se acciona con tendones; permite flexión en cada dedo, y abducción y flexión el dedo pulgar. Está compuesta por diferentes materiales lo que permite obtener la rigidez y el coeficiente de fricción adecuados con el fin de mejorar la capacidad de agarre. (Figura 3) [2]

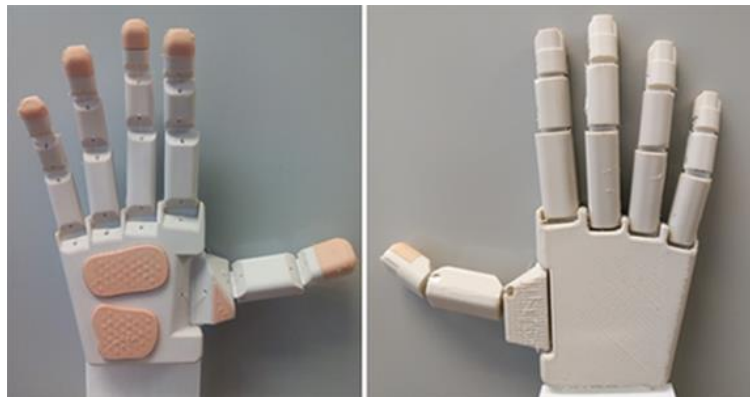


Figura 3. Mano IMMA

Ésta no puede usarse como prótesis de manera directa, con lo que es necesario un sistema de control y un dispositivo de actuación en el que se pueda unir la mano, así como se muestra a continuación (Figura 4) con los diferentes componentes que forman el sistema actuador.



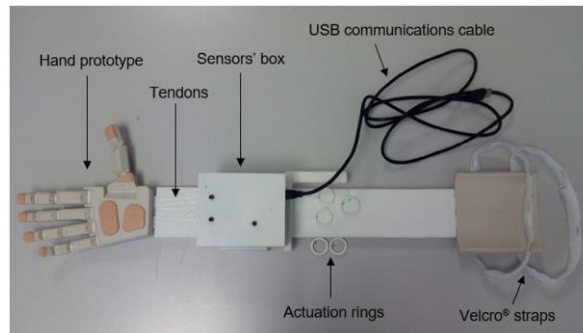


Figura 4. Mano IMMA con sistema de actuación

- **Mano BruJa (BruJa Hand)**

Es una prótesis de mano multidedo antropomórfica infractuada, la cual controla la flexión y extensión de cada dedo, así como la aducción y abducción del pulgar. Se trata de una prótesis de bajo costo impresa con tecnologías FDM. Comprende tres versiones diferentes según los elementos que se utilicen para transmitir el movimiento junto con seis motores DC.

El primer modelo, se realiza con enlaces; el segundo, mediante cuerdas que actúan en la mano como tendones y, el tercer modelo, combina las anteriores.

En este último, para su funcionamiento se utilizan actuadores y elementos de transmisión, como mecanismos de cuatro barras para los dedos o arreglos de piñón cremallera para la palma de la mano. (Figura 5) [3]

En la Figura 1 se puede observar también montada en la plataforma PACMAR para realizar sus respectivas pruebas.

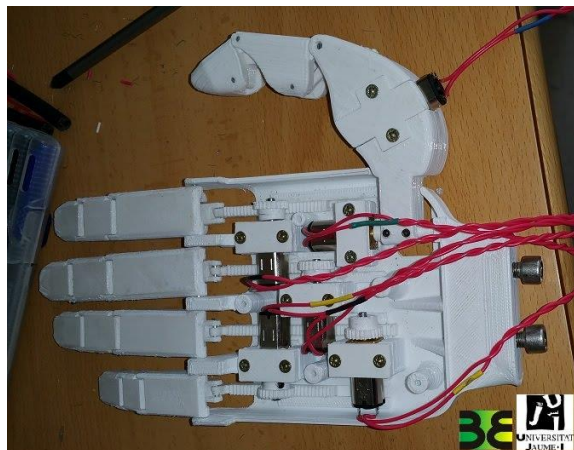


Figura 5. Mano BruJa

Existen diversos estudios que abarcan la investigación y desarrollo de dispositivos, los cuales permiten la realización de ensayos con manos artificiales, en los que se tienen en cuenta diferentes tipos de manos y elementos en función del tipo de agarre. Para poder contrastar la eficacia de dichas manos, se han desarrollado múltiples ensayos donde se evalúan la eficiencia mecánica, la eficacia de agarre y la durabilidad de dichas manos.

Por tanto, para la evaluación de prótesis se han desarrollado ensayos inspirados en el agarre de manos junto con dispositivos robóticos, lo que ha supuesto el uso de electrónica a un nivel avanzado.

Hay una institución conocida como el *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, cuyo objetivo es promover la innovación y la competencia industrial mediante avances en metrología, normas y tecnología, de forma que mejoren la estabilidad económica y la calidad de vida. [4] Esta institución, cuenta con un departamento de ingeniería donde se realizan estudios de manos con pinzas robóticas, cuya finalidad es evaluar las fuerzas que se aplican a la hora de apartar objetos con la pinza robótica mientras permanece sujeto. [5]

Se presenta una compilación de pruebas que proponen:

- ***Grasp Efficiency / Grasp Strength (Split Cylinder Artifact)***

Consiste en un cilindro dividido, el cual es capaz de medir la resistencia al deslizamiento, la fuerza y eficiencia de agarre. Este artefacto, en función de los sensores de fuerza que contiene, posee diferentes modelos que cuentan con células de carga o sensores capacitivos. (Figura 6)

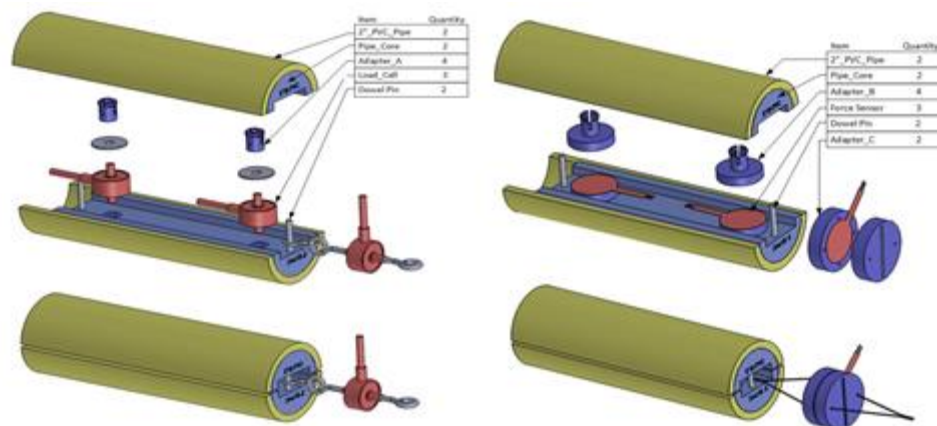


Figura 6. Split Cylinder Artifact

La prueba *Grasp Efficiency* se utiliza para medir la fuerza de agarre interna mientras se aplica una fuerza creciente al cilindro en dirección axial.

También supone que la mano es capaz de detectar fuerzas de deslizamiento o fricción, y aumenta la fuerza de agarre según aumenta la medida de empuje. (Figura 7)

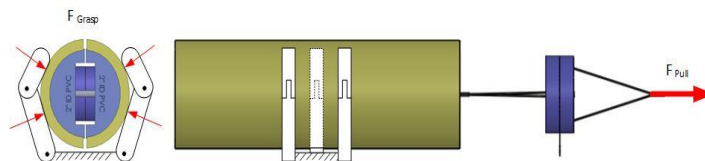


Figura 7. Grasp Efficiency

El procedimiento para la prueba *Grasp Strength* es similar, ya que se consideran dos direcciones en la orientación de la fuerza, una orientación de 0 grados y, otra de 90 grados con respecto a la disposición de la célula de carga y la superficie de la palma. A continuación, se toman medidas en ambas direcciones para conseguir la fuerza interna resultante. Una vez conseguido, se extrae la fuerza cuasi estática para los diferentes ciclos de agarre y los distintos tamaños de cilindro, y se realiza una media de la fuerza. (Figura 8)

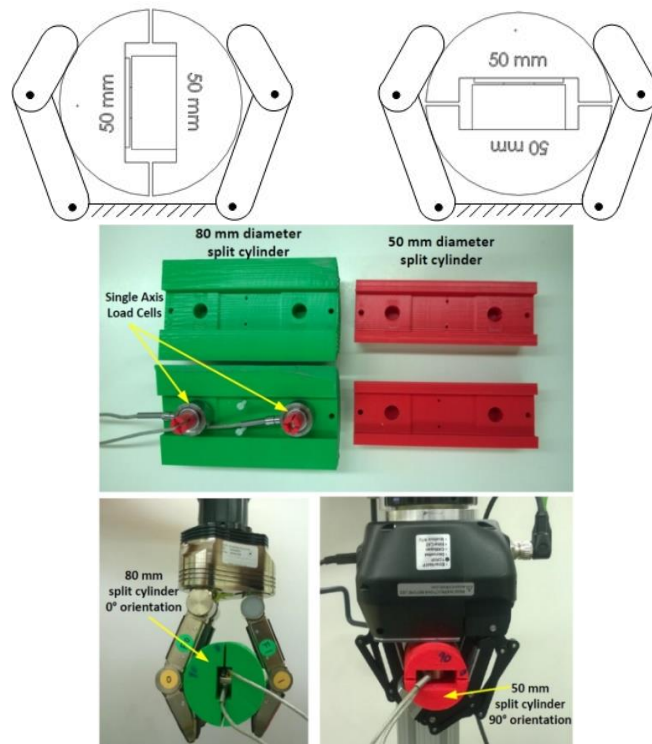


Figura 8. Grasp Strength

- **Finger Strength**

Esta prueba se encarga de medir la fuerza máxima que puede ejercer un dedo en su entorno. El ensayo consiste en colocar el dedo sobre el aparato de medida y verificar que la lectura de fuerza es cero. Una vez controlada la posición, se ordena que se cierre el dedo por completo hasta que se produce una saturación del control, es entonces cuando se ejecutan un determinado número de ciclos de cierre y apertura, y se calcula un promedio de las fuerzas que se encuentran en la región cuasi estática de los ciclos de carga. (Figura 9)

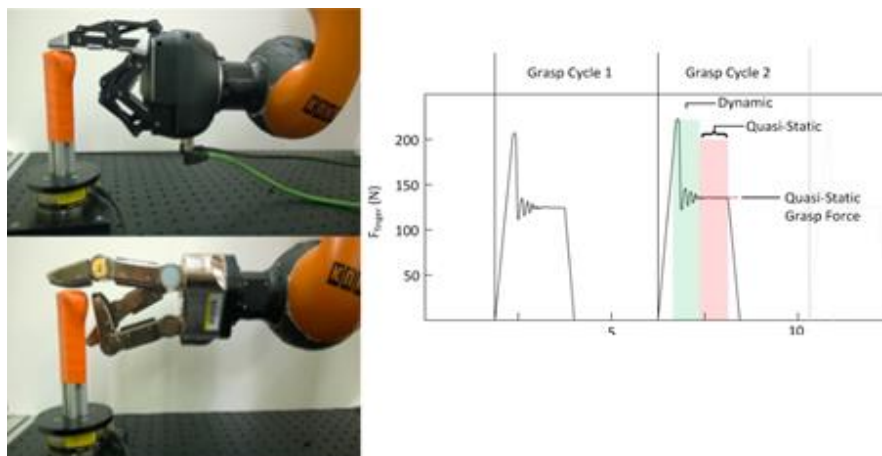
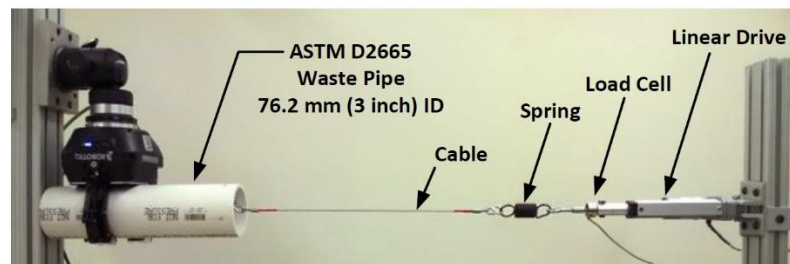


Figura 9. Finger Strength

- **Slip Resistance**

Esta prueba mide la resistencia al deslizamiento que ofrece una mano robótica e investiga las propiedades inherentes de fricción de la superficie de los dedos de la mano. En primera instancia, se introduce un artefacto cilíndrico en la mano y se procede a fijar la máxima potencia en la empuñadura envolvente para que se cierre con la mayor fuerza posible. Seguidamente se procede a tirar del cilindro a una velocidad controlada de fuerza creciente hasta que se visualiza el deslizamiento entre la mano y el cilindro. El proceso se repite con diferentes diámetros de cilindro estándar con los que la mano es capaz de agarrar. Por último, se realiza la medición de la fuerza de estiramiento máxima. (Figura 10)



*Figura 10. Slip Resistance*

Teniendo en cuenta todo lo anterior y el objetivo de diseñar un dispositivo para la plataforma, destaca el ensayo que propone el *NIST* para medir la resistencia al deslizamiento, ya que su funcionamiento y finalidad son interesantes para el desarrollo del proyecto. Conocidos todos estos detalles, surge la necesidad de mejorar la medición de las capacidades dinámicas de las manos artificiales mediante un diseño que sea simple de montar, de bajo coste y, a su vez preciso. Esto permitirá que se investiguen posibles soluciones para que el dispositivo sea accesible para cualquier persona que lo desee construir en un banco de ensayos para manos artificiales.

## 2. FUNCIONES DE LA MANO

La mano tiene un comportamiento complejo en cuanto a funcionamiento y a nivel de organización anatómica, esto hace que se puedan realizar un ilimitado número de acciones gracias a la acción de los músculos junto con las articulaciones que componen la mano y el brazo.

La mano realiza, esencialmente, dos tipos de funciones. En primer lugar, está el tacto, el cual desarrolla la capacidad de la mano ya que, si no existiera, no sería posible medir la fuerza para las actividades prensiles; y en segundo lugar, la función de prensión, la cual permite realizar una variedad de tipos de agarres y se pueden analizar clasificándolos de diferentes formas. [6]

### 2.1. MODOS DE AGARRE

Existen diferentes tipos de agarres según como se posicionen los dedos de la mano en el objeto a sujetar. Se pueden clasificar en diferentes formas de prensión pero, en este caso, el proyecto se centra en las cinco formas que se mencionan a continuación.

#### 2.1.1 PRENSIÓN POR PINZA (PULP PINCH)

Este tipo de agarre por pinza se realiza combinando los dedos pulgar, índice y medio, o combinando los dedos pulgar e índice. (Figura 11)

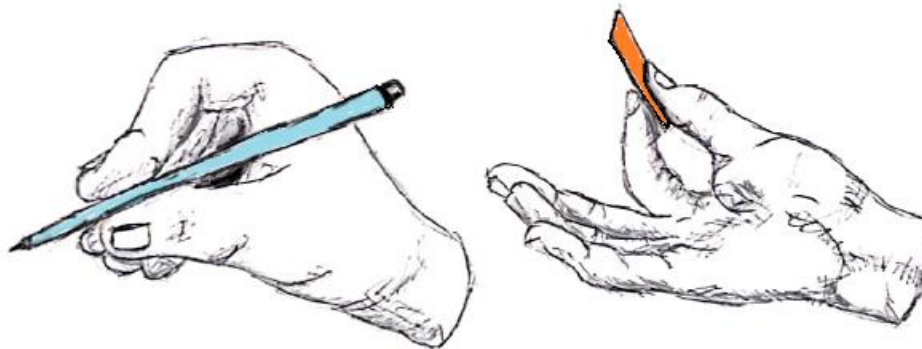


Figura 11. Pulp Pinch

#### 2.1.2 PRENSIÓN POR PINZA LATERAL (KEY PINCH)

Este agarre se trata de una pinza en la que la cara del pulpejo del pulgar contacta con la cara radial externa de la primera falange del dedo índice. Permite sujetar objetos como una moneda o hacer uso de una llave. (Figura 12)



Figura 12. Key Pinch

### 2.1.3 AGARRE CILÍNDRICO (CYLINDRICAL GRIP)

Este agarre se realiza con el contacto de todos los dedos y la palma de la mano, donde se utiliza la palma como plano prensil y el pulgar que envuelve, como punto de apoyo. (Figura 13)

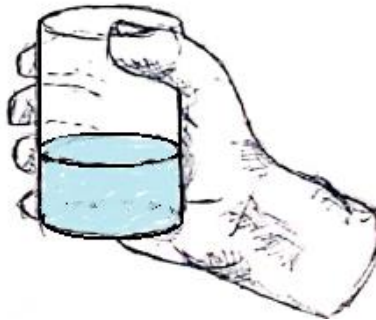


Figura 13. Cylindrical Grip

### 2.1.4 AGARRE ESFÉRICO (SPHERICAL GRIP)

Este agarre se puede realizar con diferentes combinaciones de dedos y la palma de la mano como apoyo de plano prensil. (Figura 14)



Figura 14. Spherical Grip

### 2.1.5 AGARRE DE GANCHO (HOOK)

Este agarre consiste en colocar dos, tres o cuatro dedos articulados en flexión y el dedo pulgar no procede en la prensión. La mano actúa como un elemento que permite sujetar objetos, como la tira de una bolsa de plástico. (Figura 15) [7]



Figura 15. Hook



### 2.1.6 OTRAS FORMAS DE AGARRE

Existen más ejemplos de tipos de agarres, los cuales se proponen en el artículo AHAP, pertenecientes al grupo de investigación de la Universidad Jaume I, donde se presenta un protocolo para evaluar diferentes agarres con un set de objetos de la vida cotidiana. (Figura 16) [8]

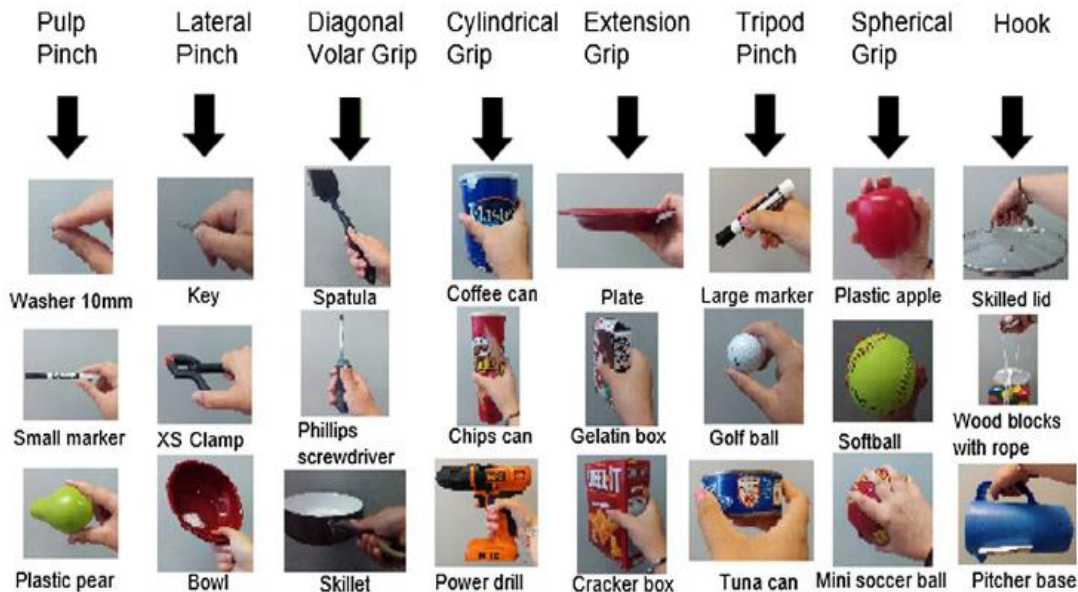


Figura 16. AHAP - Benchmarks Object Set

Una vez vistos los diferentes agarres que puede tener la mano, se considerarán en la medición del dispositivo aquellos que representen un porcentaje elevado en la vida diaria. Mediante el artículo de M. Vergara, en cual se realiza un estudio sobre la frecuencia diaria de uso para cada tipo de compresión (Figura 17), se seleccionarán los siguientes agarres: prensión por pinza (pulp pinch), prensión por pinza lateral (key pinch), agarre cilíndrico (cylindrical grip), agarre esférico (spherical grip) y agarre de gancho (hook). [9]

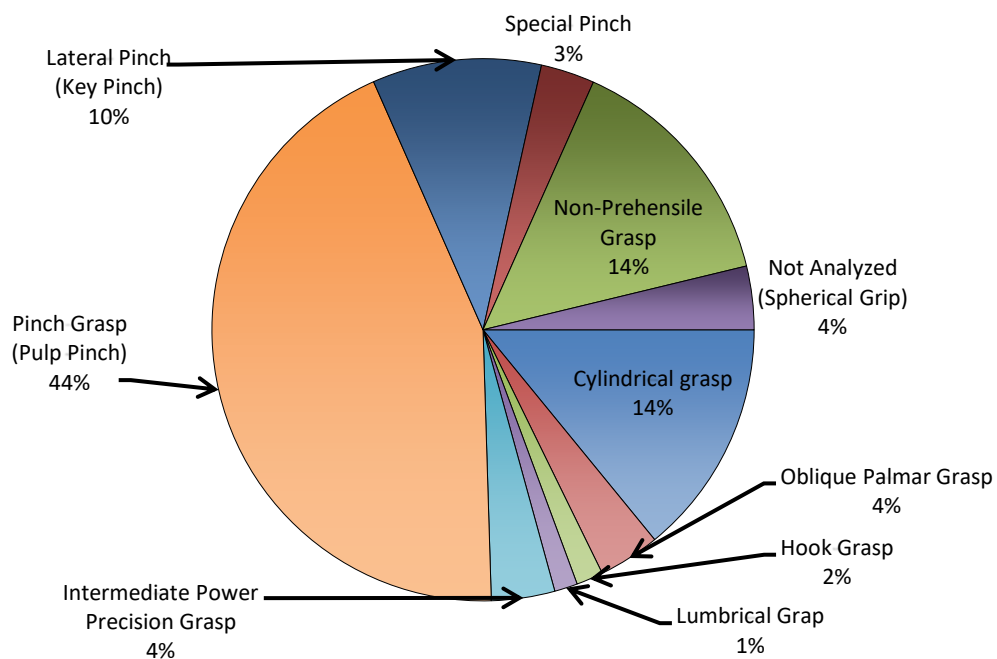


Figura 17. Gráfico de frecuencia de uso de agarres –  
M. Vergara et al. / Journal of Hand Therapy

## 2.2. TERMINOLOGÍA

Para identificar las posiciones relativas y las direcciones en las que se mueve un objeto respecto al agarre de la mano, es necesario establecer un conjunto de términos anatómicos. Estos están estandarizados en campos específicos de la biología y difieren de una disciplina a otra. Por ejemplo, en los seres vertebrados, y una cantidad de invertebrados, presentan simetría bilateral, definido por la existencia de un único plano llamado plano sagital, el cual divide el cuerpo de un organismo en, aproximadamente dos mitades especularmente idénticas, la mitad izquierda y la mitad derecha, siempre y cuando el eje corporal pertenezca al plano de simetría. [10]

Ejes que definen las direcciones:

1. **Eje anteroposterior:** definido por los extremos o regiones cráneo (anterior) y caudal (posterior). (Figura 18)
  - Región craneal: también denominado extremo anterior, rostral o cefálico, se caracteriza por la posición de la ante cabeza.
  - Región caudal: también conocido como extremo posterior, está definido por la región de la cola o polo opuesto a la cabeza.
2. **Eje dorsoventral:** definido por los extremos o regiones dorsal y ventral.
  - Región dorsal: aquella situada más alejada del suelo si se dividiera el cuerpo por la mitad, empleando un plano imaginario paralelo al mismo. Es el resultado de girar el plano trazado los mismos 90° que el eje mayor del cuerpo.
  - Región ventral: se conoce como la región que queda más próxima al suelo, y posee áreas con denominaciones específicas.
3. **Eje lateral:** definido por los lados del cuerpo, tomando como referencia el plano perpendicular al suelo que lo divide por el eje mayor.
4. **Eje latero-medial:** es el que discurre entre el punto medio del cuerpo y uno de los lados (izquierdo o derecho).
5. **Eje próximo-distal:** los extremos proximal y distal que delimitan este eje, son empleados para definir la posición que ocupan los apéndices del cuerpo con respecto a éste.
  - Extremo proximal: es el más cercano al cuerpo. En el caso de las extremidades, serían los extremos proximales, las cabezas del húmero y del fémur, es decir, las articulaciones de los miembros con el tronco.
  - Extremo distal: Es el más alejado del cuerpo. Las falanges de manos y pies, o las orejas, serían los extremos distales de estos apéndices.

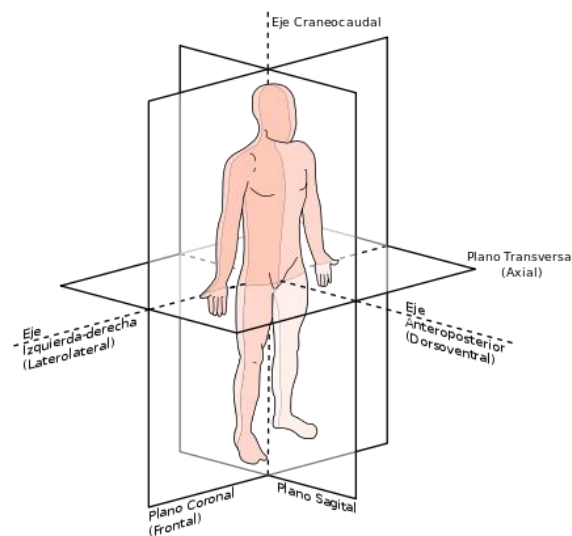


Figura 18. Plano anatómico



Una vez determinados los ejes, se puede definir la terminología de las direcciones según la anatomía de la mano humana, la cual está compuesta por diferentes músculos, ligamentos y huesos que abarcan desde la muñeca hasta la yema de los dedos. Sin embargo, se podría profundizar más en el contexto de su composición interna, en función de los planos que forman sus partes. En este caso, se mencionará el que corresponde a la muñeca. (Figura 19) [11] [12]

- **Dirección palmar-dorsal:** es la que corresponde al eje que se sitúa entre las caras palmar y dorsal de la mano.
- **Dirección distal-proximal:** es la que corresponde al extremo más alejado y al extremo más cercano del cuerpo.
- **Dirección radial-cubital:** pertenece a la que forma el radio y el cúbito. El radio, se encuentra en la parte lateral o externa del antebrazo, paralelo al cúbito. Esta dirección también se denomina medial-lateral, la cual corresponde al eje que delimita la zona hacia al centro y hacia fuera de la mano, es decir, según la orientación, hacía el lado derecho o izquierdo. (Figura 20)

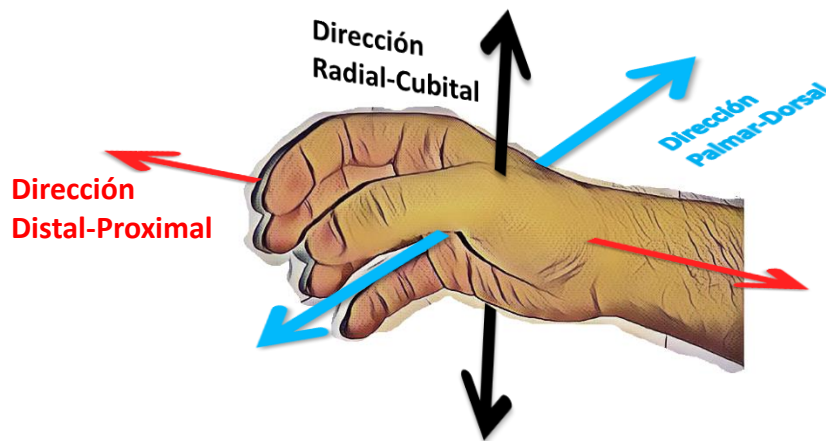


Figura 19. Direcciones de la mano

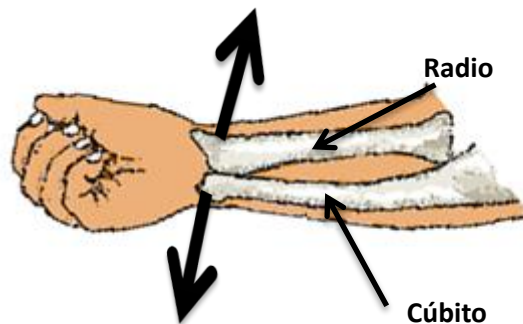


Figura 20. Dirección Radial-Cubital

### 2.3. CAPACIDADES DINÁMICAS DE LA MANO

Con el fin de conocer los límites para el dispositivo que se quiere diseñar, es conveniente saber hasta qué punto resisten las capacidades dinámicas de la mano para realizar los agarres, es decir, las fuerzas máximas que pueden realizar.

Para determinar los valores de fuerza máxima de cada uno de los agarres, se ha consultado en diferentes fuentes en las que se reflejan los valores de fuerza de la mano humana, tal y como se puede apreciar en la *Tabla 1*, cuyos datos pertenecen a varones adultos de mediana edad y realizados con la mano derecha dominante.

	MacKenzie & Iberall 1994 [13]	Mathiowetz et al. 1985 [14]	Lorenzo - Agudo MA et al -2007 [15]	P. Escalona - 2009 [16]	L. Jashimoto -2009 [17]
<b>Pulp Pinch</b>	58,86	82,4	87,3	-	-
<b>Key Pinch</b>	107,9	115,8	139,3	153,7	-
<b>Cylindrical Grip</b>	392,4	464,5	437,5	542,8	417,7
<b>Tripod Pinch</b>	88,3	-	131	-	-

*Tabla 1. Fuerzas de Agarre (N)*

Se presentan algunas observaciones:

- Para los agarres *Spherical Grip*, *Hook*, *Diagonal Volar Grip*, *Extension Grip* no se han encontrado datos específicos en las diferentes fuentes, por lo que se utilizarán los valores del agarre cilíndrico, ya que son agarres de potencia y los valores serán similares.
- Hay fuentes que utilizan sistemas de unidades diferentes, con lo que se ha procedido a la conversión de todas las medidas a la unidad del sistema internacional.

Conocidos los valores de fuerza de agarre, se debe considerar que las manos artificiales, pese a ser unos artilugios de gran funcionalidad, no alcanzan los valores de fuerza de la mano humana. Por ello, las dimensiones de fuerza de las manos artificiales, para este proyecto, se establecerán alrededor de la mitad de lo que alcanza la mano humana.

Existen estudios de manos protésicas donde se comparan los diferentes modelos que existen hoy en el mercado, además de las características de las manos que están en continua investigación. En el artículo de Belter se hace una revisión del diseño y del rendimiento de diferentes manos protésicas antropomórficas, llevando a cabo una medición de las fuerzas máximas de agarre. [18]



*Figura 21. Manos comerciales - Belter et al.*

A continuación, en la *Tabla 2* y *Tabla 3* se observan los valores que alcanzan diferentes manos protésicas, los cuales aparecen en Newtons como en la *Tabla 1*. De esta manera, se puede comprobar que algunos de dichos valores corresponden a una cuarta parte de lo que puede alcanzar la mano humana.

	Precision Grasp	Power Grasp	Lateral Pinch
<b>SensorHand (2011)</b>	NA	100	NA
<b>Vincent Hand (2010)</b>	-	-	-
<b>iLimb (2009)</b>	10,8	-	17-19,6
<b>iLimb Pulse (2010)</b>	-	136	-
<b>Bebionic (2011)</b>	34	75	15
<b>Bebionic v2 (2011)</b>	34	75	15
<b>Michelangelo (2012)</b>	70	NA	60

*Tabla 2. Fuerzas de agarre de manos comerciales (N) - Belter et al.*

	TBM Hand (1999)	Remedi Hand (2002)	MANUS-Hand (2004)	DLR/HIT I (2004)	DLR/HIT II (2008)	UB Hand 3 (2005)	FluidHand III (2009)	Keio Hand (2008)	Vanderbilt Hand (2009)	LO/SH Southampton Hand (2001)
<b>Precision Grasp</b>	14	9,2	60	7	10	6,8	45	-	20	45
<b>Power Grasp</b>	-	-	-	-	-	-	-	37	80	-

*Tabla 3. Fuerzas de agarre de manos en investigación (N) - Belter et al.*

### 3. DISEÑO CONCEPTUAL

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

A la hora de desarrollar una solución para cualquier problema que se nos pueda plantear, es importante saber cómo organizar la información. Así pues, con la presencia de una estructura detallada de tareas y un análisis extenso de las posibles alternativas, se logrará llevar a cabo una solución que permita un diseño adecuado para cumplir el objetivo del proyecto.

En los siguientes apartados se desarrollarán las partes del diseño conceptual, lo que permitirá exponer las especificaciones del proyecto y las funciones que tendrá el dispositivo, así como posibles alternativas y una solución adoptada.

Cabe señalar que, para el desarrollo del dispositivo, se ha seguido la línea expuesta anteriormente en la propuesta *Slip Resistance* del NIST (1.2. Antecedentes), del cual se va a utilizar el concepto de medida indirecta de la fuerza de agarre. Esto se produce sometiendo un objeto agarrado a un esfuerzo hasta que desliza respecto a la mano artificial.

Las diferencias respecto al ensayo del NIST son:

1. Se utilizan diferentes objetos con dimensiones características.
2. Se tira del objeto en tres direcciones diferentes: ventral-dorsal, radial-cubital y palmar-dorsal.

Por lo tanto, la medida indirecta es la fuerza de fricción que es capaz de soportar, con lo que está relacionado con la fuerza de agarre.

#### 3.2. ESPECIFICACIONES

Las especificaciones son un conjunto de determinaciones detalladas que debe cumplir el sistema estrictamente, las cuales se establecieron con el director al comienzo del proyecto.

Las especificaciones del sistema se observan a continuación:

- El sistema debe poder montarse sobre la plataforma PACMAR en menos de 10 minutos.
- Debe poder medir y registrar la fuerza sobre el objeto agarrado al tirar en las tres direcciones del espacio, con una resolución mínima del 1%.
- El cambio de objeto o de dirección para la fuerza debe ser posible en menos de 1 minuto.
- La pérdida del agarre entre el objeto y la mano debe poder detectarse para desplazamientos del sistema de tracción sobre el objeto de 3 mm.
- El coste máximo del material del sistema debería ser de 500 €.
- El sistema debe poder incluir la regulación necesaria en su posición para adaptarse a las diferentes dimensiones de las manos artificiales montadas en la plataforma.
- La regulación para una nueva mano debe poder hacerse en menos de 5 minutos.

Otras especificaciones, además de aquellas necesarias para diseñar el sistema, son las referentes a los objetos que se utilizarán en el proyecto. Se trata de una serie de figuras con un tamaño y una forma determinada, las cuales simulan objetos de la vida cotidiana. Esta variedad de objetos se debe a los diferentes agarres que se estudiarán con las manos artificiales.

Las especificaciones de los objetos se observan a continuación:

- Prismas: Espesor: 60, 20 mm, Largo: 100 mm, Altura: 150 mm
- Cilindros: Diámetros: 90, 60, 20 mm, Altura: 150 mm
- Esferas: Diámetros: 90, 60 mm

Una vez definidas las proporciones de los objetos, estos se deberán diseñar mediante un programa de modelado en 3D para fabricarlas posteriormente con una impresora 3D.

### 3.3. FUNCIONES DEL SISTEMA

Para cumplir con las especificaciones indicadas en el apartado anterior, será necesario resolver una serie de funciones que el dispositivo deberá cumplir. Mediante un diagrama funcional se facilitará la generación de conceptos y el análisis del funcionamiento.

A continuación, se presentan un conjunto de necesidades que se plantean a la hora de establecer las funciones del sistema:

1. Sistema estructural que sostenga el dispositivo.
2. Sistema que tire del objeto y en diferentes direcciones.
3. Medio que transmita la fuerza de forma creciente sobre el sistema que tira del objeto.
4. Medio que permita medir la fuerza en el instante que se pierde el agarre.
5. Sistema de detección que indique el momento de la pérdida del agarre.
6. Sistema de control digital que pueda indicar al sistema cuando accionarse.
7. Medio que permita almacenar los datos de los ensayos.
8. Medio para alimentar el sistema de control de manera que proporcione la energía necesaria para su uso.
9. Interfaz que pueda integrarse en el sistema de control y que permita controlar diferentes parámetros del dispositivo o modificar, si es necesario, alguno de estos.

En el siguiente diagrama (Figura 22) se observan estas necesidades siguiendo su correspondiente numeración y su descripción, además el término que define cada una de las funciones.

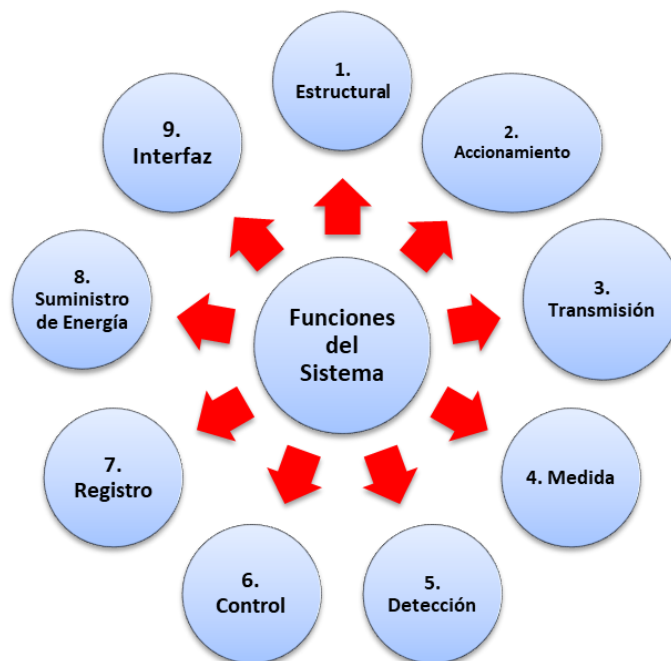


Figura 22. Diagrama Funcional

### 3.3.1 ***FUNCIÓN ESTRUCTURAL***

Como su nombre indica, esta función está relacionada con la estructura que sostendrá el dispositivo. En ella, se aplicará el peso de los objetos y los componentes que se utilicen durante las pruebas. Además, estará formada por diferentes partes y, a su vez, deberá ser lo suficiente rígida que impida deformarse.

Como el proyecto debe montarse en la plataforma PACMAR ya existente, se deberá utilizar componentes compatibles con el material de dicha plataforma, en cual se sabe que está compuesta de perfiles de aluminio. Así pues, se valorará la resistencia mecánica, el precio de la materia prima, el peso, la vida útil y la manufactura (proceso de fabricación) ya que, los procesos de transformación del material según sus propiedades, varían con el diseño y las especificaciones.

Se han considerado varias alternativas para sostener la estructura:

#### ***Madera***

Material de una cierta elasticidad que se encuentra en el tronco de los árboles. Como el crecimiento de estas especies vegetales se desarrolla mediante la formación de anillos concéntricos, en la madera es posible distinguir varios estratos.

Estas son sus principales características:

- Es un material renovable, biodegradable y reciclable.
- Es dúctil, maleable y tenaz.
- Su resistencia depende de su densidad, es decir, cuanta mayor densidad, más resistente.
- La madera es aislante térmico y eléctrico.
- Es flexible, lo que permite ser curvada más fácilmente en el sentido de su longitud, impidiendo que se rompa o se deforme.

En el caso de los tableros de fibras, estos se construyen a partir de maderas que han sido reducidas a sus elementos fibrosos básicos y posteriormente reconstituidas para formar un material estable y homogéneo. En función de la presión aplicada y el aglutinante empleado en su fabricación, se pueden dividir en dos tipos: los de alta densidad y de densidad media. (Figura 23)



*Figura 23. Tablones de madera*

### ***Perfiles de Aluminio***

Es uno de los materiales más abundantes de la corteza terrestre. Es un metal suave y ligero con el que, mezclado con pequeñas cantidades de otros metales, se obtiene una amplia gama de aleaciones con propiedades específicas para un sinnúmero de aplicaciones. [19] Sus principales propiedades son:

- Propiedades físicas: ligereza, fortaleza, durabilidad, maleabilidad y resistencia a la corrosión.
- Las posibilidades estéticas son infinitas, perfectas y permanentes en el tiempo por sus tratamientos anodizados y tratamientos mecánicos.
- Tienen un ciclo de vida sostenible, de principio a fin. El aluminio es prácticamente 100% reciclable, su tasa de recuperación en construcción es de un 95%, y su reciclado ahorra el 95% de la energía usada en su producción inicial.

Los perfiles de aluminio son el resultado de un proceso llamado extrusión, que consiste en pasar a alta presión el metal precalentado a través de una matriz con una abertura que da forma a la sección transversal del perfil. Los productos extruidos representan más de la mitad del procesamiento industrial del aluminio. Su temperatura de extrusión en caliente está alrededor de 350-500 °C. (Figura 24)



*Figura 24. Perfiles de aluminio*

### ***Acero al carbono***

Es un tipo de acero, cuyo principal componente es el carbono (como su propio nombre indica), aunque también posee hierro y manganeso. Así mismo, se le conoce como forjado y es flexible, lo que permite que pueda obtener cualquier forma. El 90% de los aceros son de carbono.

Este tipo de acero, cuando se encuentra en bruto, se somete a tratamiento térmico, lo que permite darle las cualidades requeridas según el uso para el cual se necesite, es decir, se vuelca en bloques que son laminados en caliente en la forma deseada, y más tarde, el carbono consigue que el compuesto se endurezca. Según el contenido de carbono, éste se clasifica en:

- Aceros de bajo porcentaje de carbono (menos del 0.3 %). Tienen mayor resistencia y dureza, lo cual disminuye la posibilidad de que se deformen.
- Aceros con medio porcentaje de carbono, (entre 0.3 y 0.5 %). Por lo general, necesitan un tratamiento térmico para endurecer.
- Aceros con alto porcentaje de carbono, (más de 0.5%). Normalmente, se suelen utilizar en aplicaciones en las que es necesario aumentar la resistencia al desgaste y altas durezas, lo que no podría obtenerse con aceros de menor cantidad de carbono.

Con respecto a su uso, se utiliza para fabricar carrocería de coches, máquinas, estructuras de construcción, tuberías, cascos de buques, construcciones metálicas, piezas de maquinaria, clavos, cerraduras, alfileres, motores, ferrocarriles, entre otros.

Al igual que en los perfiles de aluminio, los perfiles de acero al carbono (Figura 25 ) se pueden elaborar mediante extrusión. La diferencia entre ambos es la temperatura, ya que el acero necesita mucha más, alrededor de 1200-1300°C.



*Figura 25. Perfiles de acero al carbono*

### **Acero inoxidable**

Se trata de un tipo de acero de elevada resistencia a la corrosión. Esto se debe a que el cromo u otros metales aleados que contiene, poseen gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él formando una capa pasiva que evita la corrosión del hierro. Sin embargo, esta capa puede verse afectada por algunos ácidos, provocando que el hierro sea atacado y oxidado por mecanismos intergranulares o picaduras generalizadas. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleados; los principales son el níquel y el molibdeno. El acero inoxidable se divide en cuatro familias metalúrgicas diferentes en función de las aleaciones que lo componen: ferrítico, martensítico, austenítico o acero dúplex.

Sus principales propiedades son:

- Resistencia a la corrosión y la oxidación.
- Tiene buenas propiedades de resistencia al calor frente altas temperaturas.
- Fácil fabricación y limpieza. Al poseer una resistencia mecánica adecuada, permite ser moldeado, y cuenta con una rugosidad superficial baja.
- Es un acero de bajo coste y reciclable.
- Tiene buena estética.

Según el sector, puede aplicarse a:

- Electrodomésticos: grandes electrodomésticos y pequeños aparatos para el hogar.
- Automoción: especialmente tubos de escape.
- Construcción: edificios y mobiliario urbano.
- Industria: alimentación, productos químicos y petróleo.
- Vestimenta: fabricación de joyas

El acero inoxidable presenta las mismas características de conformado que el acero al carbono en el proceso de extrusión en caliente.



*Figura 26. Perfiles de acero inoxidable*



### ***Polímero ABS***

El ABS es un polímero compuesto de butadieno y acrilonitrilo o estireno, caracterizado por ser un material muy resistente y ligero, lo que permite utilizarlo en la fabricación de piezas para automóviles. Coloquialmente, se le suele llamar plástico de ingeniería, ya que su elaboración y procesamiento es algo más compleja que en los plásticos comunes. (Figura 27)

Es resistente a temperaturas extremas, especialmente cuando se encuentran bajo cero, lo que le convierten en un material bastante interesante para entornos fríos, manteniéndose inalterable donde otros se vuelven quebradizos. Además, absorbe poca agua y se recubre fácilmente con capas metálicas, ya que es receptivo a los baños de metales.

En el mundo de la impresión 3D, el ABS es uno de los materiales que más se utilizan en la actualidad, y convive con otros materiales sustitutivos, como el PLA (se verá a continuación) y, aunque sus aplicaciones son muy parecidas, según para qué, uno es más indicado que otro.



*Figura 27. Polímero ABS*

### ***Polímero PLA***

Es un termoplástico biodegradable, hecho a base de recursos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar. Aparte de usarse en la impresión 3D, lo podemos ver principalmente en implantes médicos, envases de alimentos y vajillas desechables. El principal beneficio que presenta es que es fácil de extruir. (Figura 28)

De sus propiedades mecánicas, destaca mayor dureza superficial que el plástico ABS, pero tiene resistencia decente, es frágil y tiende más a romperse que a doblarse.



*Figura 28. Polímero PLA*

### 3.3.2 FUNCIÓN DE ACCIONAMIENTO

Esta función se establece respecto al sistema que tira del objeto, la cual presenta dos uniones: la primera de ellas, se realiza respecto al sistema que produce la fuerza creciente y, la segunda, corresponde al objeto a utilizar. Para ello, se plantearán las diferentes posibilidades de uniones, teniendo en cuenta que, se debe de realizar en las tres dimensiones del espacio. Así pues, se valorará la flexibilidad para ajustarse al enganche y al mecanismo, la resistencia a tracción, el precio, el peso y la vida útil del material.

#### ***Hilo de pescar***

Los hilos de pescar presentan una gran resistencia y elasticidad para realizar múltiples acciones. (Figura 29)

Existen diferentes variedades de hilos que permiten adaptarse a situaciones en las que se exijan ciertas propiedades, como pueda ser la flexibilidad o la resistencia a la abrasión.

Este último, es esencial en cuanto al deslizamiento sobre determinadas superficies ya que, el hilo, puede romperse a causar del rozamiento. Con respecto a la resistencia frente a esfuerzos, cuanto mayor diámetro tenga el hilo, mayor esfuerzo resistirá.



*Figura 29. Hilo de pescar*

#### ***Cable de acero***

Se trata de un tipo de cable mecánico formado un conjunto de alambres de acero que, a su vez, constituyen un cuerpo único como elemento de trabajo. Suelen estar enrollados de forma helicoidal en una o más capas, generalmente alrededor de un alambre central, formando cables espirales. Sin embargo, también se pueden enrollar de manera helicoidal, pero sobre un alma, formando los cables guardines, o bien acoplarse uno al lado del otro, para formar los cables planos. (Figura 30)



*Figura 30. Cable de acero*

### ***Cuerdas de polipropileno***

Las cuerdas sintéticas de propileno cuentan con una gran variedad de aplicaciones, y se utilizan para todo tipo de actividades, ya sean deportivas o náuticas o, incluso, para la construcción. En cuanto a sus características, además de ser ligeras son resistentes a la tracción y a la abrasión. (Figura 31)



*Figura 31. Cuerdas de polipropileno*

### ***Cadena de acero***

Una cadena es un conjunto de eslabones o anillos enlazados entre sí, que sirven para sujetar, estirar y para permitir la transmisión de movimiento en las máquinas. Se suele utilizar para mantener algo sujeto, para lo que se necesita un candado que conecte ambos extremos de la cadena y para sostener objetos de gran peso. (Figura 32)



*Figura 32. Cadena de acero*

### 3.3.3 FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN

Esta función se establece respecto al medio que produce una fuerza creciente sobre el sistema que tira del objeto. El mecanismo que se utilice estará relacionado con el soporte y con la estructura del sistema, ya que deberá soportar las fuerzas o el peso que implica. Se valorará la precisión en la que se transmite la fuerza, el tamaño que ocupa sobre el dispositivo, el precio, la facilidad de utilización y el peso que suponga sobre la estructura.

#### ***Motor de paso a paso***

Es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso, son ideales para la construcción de mecanismos en los que se requiera movimientos muy precisos. Su característica principal es el hecho de poder mover un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8° lo que hace que ese tipo de motores sean muy utilizados, ya que pueden moverse como requiera el usuario según la secuencia que se establezca a través de un microcontrolador. (Figura 33)

Existen tres tipos de motores paso a paso: de reluctancia variable, de imán permanente e híbrido.

Los motores de imán permanente son los más utilizados para el campo de la robótica. Existen dos tipos:

- **Unipolares**

Suelen tener cinco o seis cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Tienden a ser cuatro los cables por los que se recibe los pulsos que indican la secuencia y duración de los pasos y, los restantes, sirven como alimentación del motor. Se caracteriza por ser más simple de controlar.

- **Bipolares**

Por lo general, tienen cuatro cables de salida. Necesitan ciertas manipulaciones para poder ser controlados, ya que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Para ello, es necesario un puente H por cada bobina del motor, es decir, que para controlar un motor paso a paso de cuatro cables (dos bobinas), se necesitan usar dos puentes H. Esto hace que la tarjeta controladora se vuelva más compleja y costosa. Su uso no es tan común como en el caso de los de tipo unipolar.



*Figura 33. Motor de paso a paso*

### ***Fuerza por gravedad***

Se define como aquella fuerza que hace que los cuerpos sean atraídos hacia la superficie de la Tierra. En este caso se aplicaría utilizando un medio que, por su peso, alcance la fuerza necesaria para tirar el objeto.

Las posibilidades serían:

#### **1. Recipiente con un fluido o sólidos**

Para que se pudiera llenar, el tamaño de su cavidad tendría que ser adecuado. Su utilización para el mecanismo, consistiría en verter un fluido o un sólido de tamaño reducido (agua o arena), hasta que se alcanzara la fuerza máxima. (Figura 34)



*Figura 34. Fuerza por gravedad - Recipiente con un fluido o sólidos*

#### **2. Peso fijo**

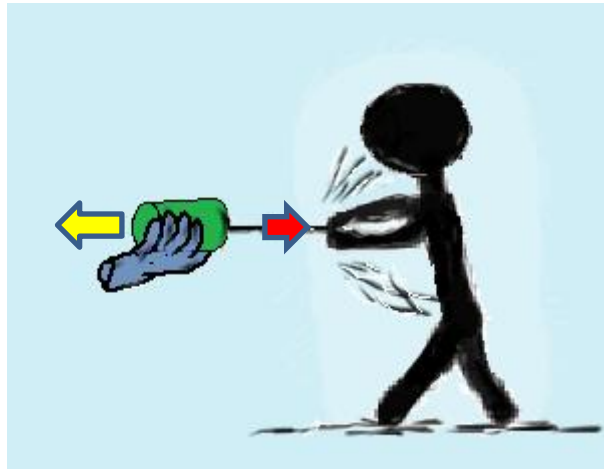
Consistiría en utilizar un conjunto de pesas calibradas, las cuales se podrían añadir o quitar en función de la necesidad. (Figura 35)



*Figura 35. Fuerza por gravedad - Peso fijo*

### ***Fuerza manual operario***

La fuerza se aplicaría usando la propia mano del operario que vaya a utilizar el dispositivo, la cual tira del objeto. Al tratarse de un objeto cotidiano, su peso no será muy elevado, por lo que la intensidad necesaria que haya que aplicar dependerá de la calidad del agarre de la mano artificial. (Figura 36)



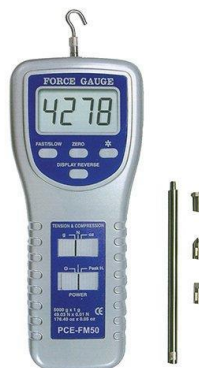
*Figura 36. Fuerza manual operario*

### **3.3.4 FUNCIÓN DE MEDIDA**

Esta función se establece respecto al medio que permite medir la fuerza en el momento que se pierde el agarre. Anteriormente, ya se ha comentado que la medida es indirecta, es decir, se trata de la fuerza de fricción que es capaz de soportar. (3.1 Introducción) Dicho esto, este sistema ha de ser capaz de medir esa fuerza, ya que el objeto estará conectado mediante algún tipo de alambre, hilo o sistema de accionamiento con el mecanismo que la incrementa. Se valorará, además, la precisión del dispositivo, la facilidad de uso, el precio, la confiabilidad de la medición realizada y el peso que implique sobre la estructura.

### ***Dinamómetro digital***

Es un artefacto que integra en un mismo elemento tanto un sensor de fuerza como un dispositivo electrónico, dotándolo de diferentes funciones. El dinamómetro está provisto de un dispositivo de montaje para un puesto de prueba de fuerza. Además, está controlado por un microprocesador con lectura rápida y precisa, de tracción y compresión. En cuanto al sistema de alimentación, se utilizan mediante baterías o un adaptador a la red. Para la transmisión de los valores de medición de fuerza a un ordenador, puede utilizarse un software opcional junto con el cable de datos. (Figura 37)



*Figura 37. Dinamómetro digital*

### **Célula de carga**

Es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre ella en una señal eléctrica medible. Es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión. A pesar de existir varios tipos de sensores, las células de carga son el sensor de fuerza más común del mercado.

La celda de carga digital produce esta deformación mediante circuitos Wheatstone, que actúan en las bases de la máquina o sistemas de pesaje para encontrar reacciones. Una vez obtenida la resistencia, se produce la transducción y se puede adquirir el valor con el que resiste la máquina. (Figura 38)



Figura 38. Célula de carga

En el circuito de Wheatstone se utilizan cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.  $R_x$  es la resistencia que hay que medir, y las otras  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son las que se conocen. Este puente se alimenta con una fuente de tensión continua. (Figura 39)

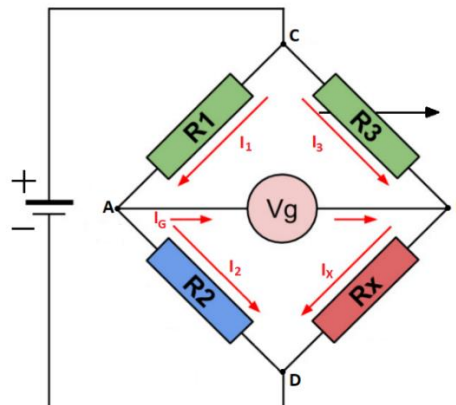


Figura 39. Circuito de Wheatstone

### **3.3.5 FUNCIÓN DE DETECCIÓN**

Esta función indica el momento de la pérdida del agarre, la cual se integrará en la estructura del dispositivo. Cualquier sistema de control que necesite un instrumento de detección incluirá un sensor. En el apartado de especificaciones (3.2. Especificaciones), se indica una distancia máxima para identificar la pérdida de agarre, con lo que se utilizarán sensores de proximidad. [20] [21]

El funcionamiento de este tipo de sensor se basa en detectar la presencia del objeto o una pieza móvil del mecanismo. Se clasifican según el principio físico que utilicen. Los más utilizados son:

- **Interruptores de posición:** también conocidos como finales de carrera. Basan la detección en el contacto mecánico del objeto al encontrarse con un elemento del sensor, en el que dicho contacto produce la apertura o cierre de un interruptor. (Figura 40)





Figura 40. Final de carrera

- **Detectores fotoeléctricos:** también llamados fotocélulas. Constan de un emisor y un receptor de luz. Su funcionamiento de detección, se basa en el efecto del objeto sobre la cantidad de luz recibida. Pueden ser reflectivos, de barrera o de reflexión. (Figura 41)

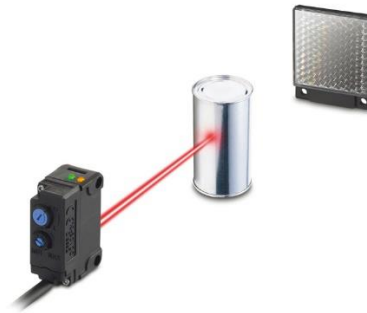


Figura 41. Fotocélula

Para los fotoeléctricos de tipo reflectivos, tanto el emisor de luz como los elementos receptores están contenidos en una sola carcasa. El sensor recibe la luz reflejada desde el objeto. (Figura 42)

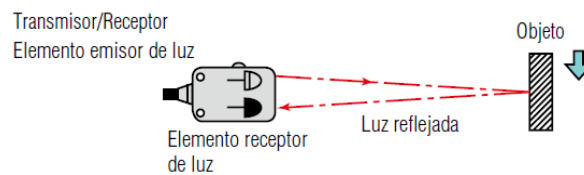


Figura 42. Fotoeléctrico reflectivo

Para los fotoeléctricos de tipo de barrera, el transmisor y el receptor están separados. Cuando el objeto se encuentra entre el transmisor y el receptor, se interrumpe la luz. (Figura 43)

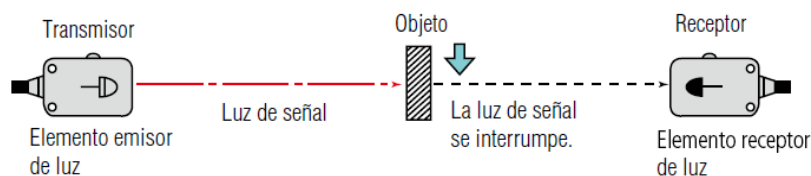


Figura 43. Fotoeléctrico de barrera

Por último, para los fotoeléctricos de tipo reflexivo, tanto el emisor de luz como los elementos receptores están contenidos en un mismo recinto. Su funcionamiento consiste en que la luz del elemento emisor incide en el reflector y regresa al receptor, y cuando hay un objeto presente, se interrumpe. (Figura 44)

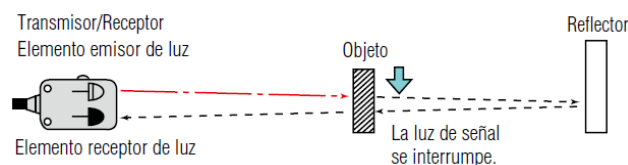


Figura 44. Fotoeléctrico reflexivo



- **Detectores inductivos:** sirven para detectar objetos metálicos. Se basan en la modificación de la inductancia, a causa de la presencia del objeto metálico. (Figura 45)



Figura 45. Detector inductivo

- **Detectores capacitivos:** sirven para detectar todo tipo de objetos, siempre que su constante dieléctrica sea sensiblemente superior a la del aire. Se basan en la modificación de la capacidad, debida a la presencia del objeto. (Figura 46)



Figura 46. Detector capacitivo

### 3.3.6 FUNCIÓN DE CONTROL

Esta función se establece respecto al sistema de control que maneja los parámetros que intervienen en el ensayo para su accionamiento.

Se plantean las siguientes propuestas:

#### **Arduino**

Arduino es una plataforma de hardware libre, compuesta por una placa con un microcontrolador, generalmente Atmel AVR, con puertos de comunicación y de entrada/salida, y por un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios. Es una plataforma abierta que facilita la programación de un microcontrolador. Los microcontroladores leen de los sensores y escriben sobre los actuadores.

Por otro lado, Arduino nos proporciona un software consistente en un entorno de desarrollo (IDE) que implementa el lenguaje de programación de Arduino, las herramientas para transferir el firmware al microcontrolador y el bootloader ejecutado en la placa. La principal característica del software y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso. También posee un puerto de conexión USB del cual se puede alimentar la placa y establecer comunicación con el ordenador.

Las placas tienen infinidad de aplicaciones, todo depende del tipo de componentes y arquitectura del código con el que se configuran.

Principales placas que se utilizan para proyectos:

- **Arduino Uno**

Es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P y desarrollado por Arduino.cc. Está equipada por conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. Consta de catorce pines digitales y seis pines analógicos, programables con el Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) a través de un cable USB tipo B. Se puede alimentar mediante este tipo de cable o por una batería externa de 9 voltios, aunque acepta voltajes entre 7 y 20 voltios. (Figura 47)

Cada uno de los pines mencionados anteriormente, se pueden usar como entrada o salida, operando a 5 voltios. Además, pueden proporcionar o recibir 20 mA según las condiciones de funcionamiento recomendadas, y tienen una resistencia de *pull-up* interna, desconectada por defecto, de 20-50 Kohm. Para evitar daños permanentes en el microcontrolador, no se debe de exceder de más de 40 mA en ningún pin de E/S.

Arduino Uno cuenta con seis entradas analógicas, etiquetadas de A0 a A5, cada una de las cuales proporciona 10 bits de resolución. Por defecto, miden desde tierra hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango utilizando el pin *AREF* y la función *analogReference()*.



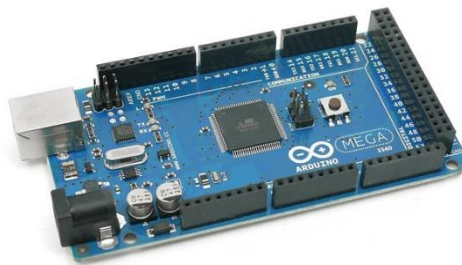
Figura 47. Arduino UNO

### - **Arduino Mega**

Arduino Mega 2560 es una tarjeta de desarrollo de Hardware libre construida con el microcontrolador Atmega 2560, de ahí su nombre. Es una placa de desarrollo robusta de la familia Arduino, cuenta con un microcontrolador muy potente de 8 bits y es el que más pines tiene de todas las opciones posibles. Tiene una memoria destinada a la programación elevada. Consta de cincuenta y cuatro pines de entrada/salida, de los cuales exactamente catorce de ellos pueden ser utilizados como salidas de PWM (Modulación por ancho de pulso). También cuenta con otras dieciséis entradas analógicas y 4 UARTs (puertos serial). (Figura 48)

Con respecto a la velocidad del microcontrolador, éste cuenta con un cristal de 16MHz y una memoria flash de 256K. Maneja un rango de voltaje de entrada de entre 7 y 12 volt, aunque se recomienda una tensión de entrada planchada en 9 Volt.

La comunicación entre la tarjeta Arduino y el ordenador, se establece a través del puerto serie, el cual cuenta con un convertidor interno USB-serie, de manera que no es necesario agregar ningún dispositivo externo para programar el microcontrolador.



*Figura 48. Arduino MEGA*

### **Cronómetro**

Reloj de gran precisión que permite medir intervalos de tiempo, hasta fracciones de segundo. Los cronómetros sirven para indicar cuánto tiempo llevó realizar una acción específica. Hay algunos que miden el tiempo de varios eventos y, otros, pueden dividirlo y presentar lecturas parciales junto con la total.

Para hacerlo funcionar, se ha de pulsar un botón de inicio al momento en el que da comienzo el evento. Al terminar, se vuelve a apretar el botón para detenerlo. También hay otro que sirve para reiniciar los valores y que vuelvan a cero. (Figura 49)



*Figura 49. Cronómetro Digital*

### 3.3.7 FUNCIÓN DE REGISTRO

Esta función está relacionada con el sistema de registro de fuerzas, la cual debe guardar y transmitir los valores que se midan. Para ello, se valorarán aquellos sistemas que se adapten al de medida, fáciles de usar, de bajo coste, y con una capacidad adecuada de memoria.

#### *Tarjeta externa SD*

Se trata de una tarjeta de memoria utilizada para dispositivos fáciles de transportar, como cámaras digitales, teléfonos móviles, computadoras portátiles y videoconsolas, tabletas, entre otros. Actualmente existen tres modelos: la SD estándar original, la mini SD y la micro SD, esta última se suele utilizar en móviles y tabletas. (Figura 50)

Por medio de adaptadores pasivos eléctricamente es posible utilizar tarjetas en ranuras más grandes. Inicialmente, la SD compitió y coexistió con otros formatos. Sin embargo, ahora, es uno de los más comunes y utilizados, ya que destaca por la velocidad de su funcionamiento.

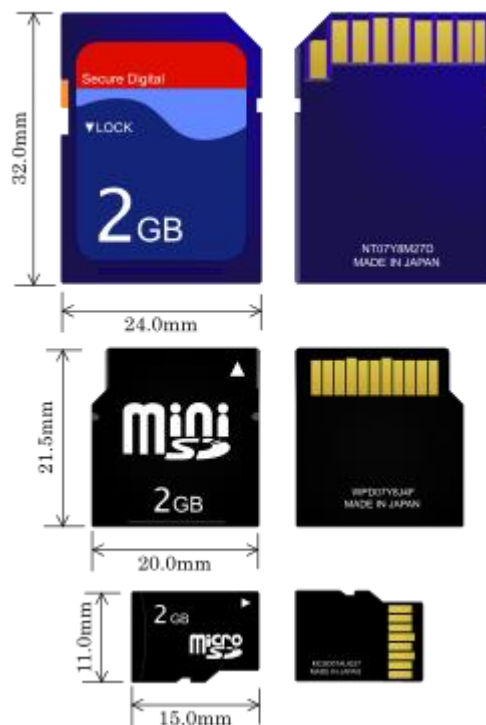


Figura 50. Tarjeta externa SD

#### *Software Dinamómetro*

Los equipos de medida, como el dinamómetro, suelen incorporar un sistema que proporciona conexión continua con un ordenador. Esto es posible por un programa que se suministra con el dispositivo y un cable de conexión, o bien, mediante el enlace del dinamómetro con el terminal de Windows. (Figura 51)

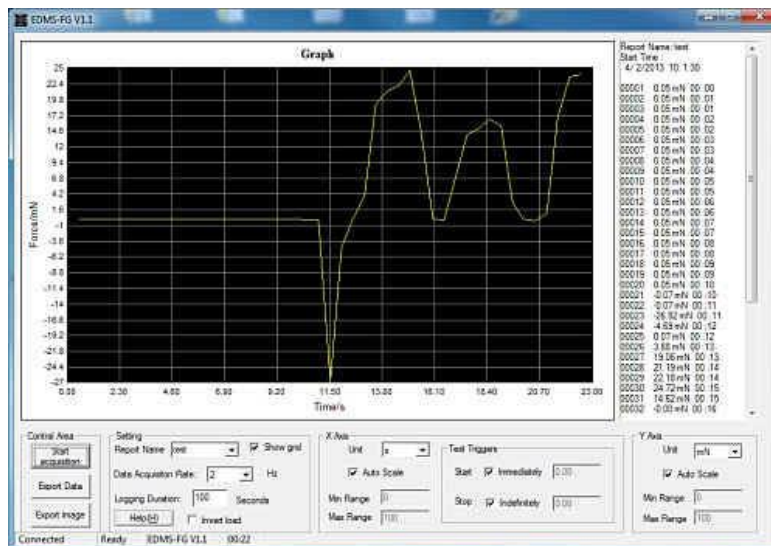


Figura 51. Software dinamómetro

### Dispositivo Bluetooth

La posibilidad de integrar conexión WIFI o Bluetooth en proyectos, abre un gran abanico de posibilidades para poder controlarlos desde el propio móvil, además de guardar información. Esto resulta muy interesante a la hora de realizar montajes de diferentes tipos. Aquellos dispositivos que incorporan este protocolo Bluetooth, son capaces de comunicarse entre sí al encontrarse dentro de su alcance, y por muy bajo coste. (Figura 52)

El hardware que lo compone, consta de dos partes:

- Un dispositivo de radio, encargado de modular y transmitir la señal.
- Un controlador digital, compuesto por una CPU, un procesador de señales digitales llamado *Link Controller*, y por interfaces con el dispositivo anfitrión.

Los dispositivos Bluetooth pueden actuar como *masters* o como *slaves*. Los primeros, pueden unirse a varios *slaves* o permitir que se conecten entre ellos, además de recibir y solicitar información, arbitrando las transferencias que ocurren durante la comunicación. Los segundos en cambio, solo pueden conectarse a un *master*.

Los módulos de bluetooth HC-05 y HC-06 son muy populares para aplicaciones con microcontroladores PIC y Arduino. Se trata de unos dispositivos, relativamente económicos, que habitualmente se venden en un tipo concreto de formato, que permite insertarlos en una *protoboard* y cablearlo directamente a cualquier microcontrolador, sin necesidad de soldarlo.

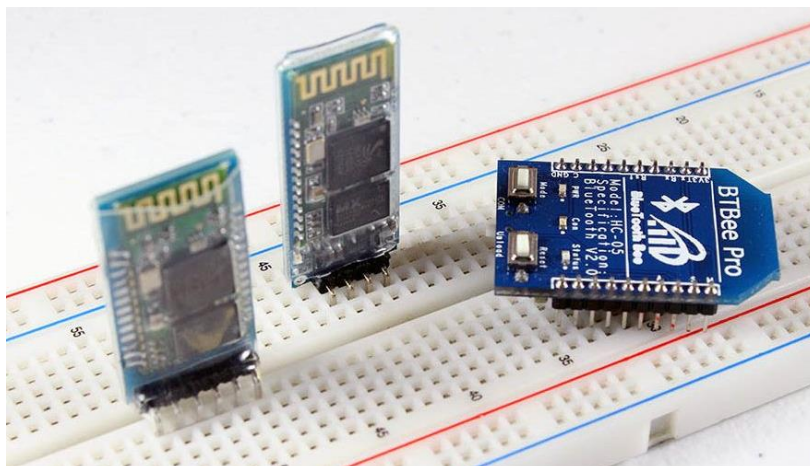


Figura 52. Dispositivo Bluetooth

### 3.3.8 FUNCIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Esta función se utiliza para alimentar el sistema de control, lo que permite proporcionar la energía necesaria para su uso. En este apartado, se valorarán medios que puedan adaptarse a diferentes dispositivos, así como el precio, la potencia máxima, la facilidad de uso (tanto de utilización como de conexión), y el tamaño que ocupa respecto al sistema.

Se presentan las siguientes propuestas:

#### ***Suministro con conector de red***

Un equipo con conexión a la red eléctrica (dinamómetros, placas de Arduino, células de carga, entre otros) puede enchufarse más fácilmente en cualquier ubicación y evitar que falte abastecimiento de energía, así como los motores de pasos, con los componentes necesarios para limitar la intensidad y voltaje necesarios. (Figura 53)



*Figura 53. Suministro de la red con conector*

#### ***Fuente de alimentación conmutada***

Dispositivo que transforma la energía eléctrica mediante transistores en conmutación. Mientras que un regulador de tensión utiliza transistores polarizados en su región activa de amplificación, las fuentes conmutadas los utilizan conmutándolos activamente a altas frecuencias entre corte (abiertos) y saturación (cerrados). (Figura 54) Las fuentes conmutadas pueden ser clasificadas en cuatro tipos:

- Alimentación CA, salida CC: rectificador, conmutador, transformador, rectificador de salida, filtro. Por ejemplo, una fuente de alimentación de ordenador de mesa.
- Alimentación CA, salida CA: variador de frecuencia, conversor de frecuencia. Por ejemplo, el variador de un motor.
- Alimentación CC, salida CA: inversor. Por ejemplo, para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías.
- Alimentación CC, salida CC: conversor de voltaje o de corriente. Por ejemplo, un cargador de baterías de móviles para coches.



*Figura 54. Fuente de alimentación conmutada*



### ***Fuente de alimentación conmutada de laboratorio***

Se trata de dispositivos diseñados para convertir la corriente alterna en corriente continua, pudiendo regularse esta última a voluntad. Los modelos normalizados entregan, en su salida, corriente continua regulable en un margen que oscila entre 0 y 30 Voltios. Esta tensión, conlleva una potencia que puede variar según el tipo de fuente alimentación, hasta 5 A. (Figura 55)

Existen una gran variedad de fuentes, con sus respectivos tipos y modelos, donde varía la capacidad de entregar la potencia en amperios, así como, algunas pueden entregar hasta 100 V en corriente continua.

Las fuentes de alimentación de laboratorio poseen en interior varios instrumentos de medida, en concreto dos, uno es el voltímetro, el cual permite leer la tensión de salida en voltios, y, el otro, es el amperímetro, que facilita una indicación de la corriente que circula entre la fuente de alimentación y el equipo al cual está alimentando.



*Figura 55. Fuente de alimentación conmutada de laboratorio*

### ***Batería***

La batería eléctrica, pila, batería o acumulador, es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en corriente eléctrica. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo; un electrodo negativo, o cátodo, y electrolitos, permitiendo que los iones se muevan entre los electrodos y que la corriente fluya hacia fuera de la batería para llevar a cabo su función, es decir, alimentar un circuito eléctrico. (Figura 56)

Las baterías se presentan en muchas formas y tamaños; desde las celdas en miniaturas utilizadas en audífonos y relojes de pulsera, hasta bancos de baterías del tamaño de una habitación capaces de proporcionar energía de reserva a las centrales telefónicas y ordenadores de centros de datos.



*Figura 56. Baterías*

### 3.3.9 FUNCIÓN INTERFAZ

Esta función debe integrarse con el sistema de control, que es donde interactuará el usuario. Para ello, debe permitir controlar los diferentes parámetros del dispositivo o modificar, si es necesario, alguno de estos. Existen diferentes maneras de relacionarse con el sistema, y dependerá de cómo se haya seleccionado la obtención de la medida y el sistema de control. Por lo tanto, se valorará la configuración necesaria para su utilización, que sea adaptable a otros dispositivos, el precio y la sencillez de uso, tanto a nivel de interacción como de instalación.

#### **Pantalla del dinamómetro**

El propio dinamómetro contiene una pantalla LCD que permite observar los valores de fuerza que se van midiendo de manera regular. Además, según el modelo que se maneje, suele tener un menú para poder modificar los parámetros. También, proporciona información del instante y del tipo de medida junto sus unidades respectivas. Utilizando el programa del dinamómetro y sus menús, permite la comunicación con el ordenador. (Figura 57)



Figura 57. Pantalla del dinamómetro

#### **Pantalla LCD**

La pantalla de cristal líquido o LCD, es delgada y plana, y está formada por un número de píxeles en color o monocromos, colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que requiere de pequeñas cantidades de energía eléctrica. Permite mostrar texto, gráficos e imágenes al trabajar con microcontroladores como Arduino, Pic o Raspberry Pi. También se puede usar para mostrar la lectura de sensores, así como para implementar una interfaz para nuestros proyectos.

Existen diversos tipos de pantallas, pero únicamente se nombrarán las propuestas como alternativas:

#### **- Pantalla LCD con controlador (Smart Controller)**

Es un dispositivo con gráficos completos, que contiene un lector de tarjetas SD, un codificador giratorio y una pantalla LCD. Se puede conectar fácilmente a una placa Arduino utilizando *shields* los cuales son circuitos modulares que se montan encima de la placa. Como la propia pantalla suministra energía para la tarjeta SD, no es necesario un ordenador para visualizar el contenido. Además, todas las acciones, como la calibración o los movimientos del sistema, se pueden hacer simplemente usando el codificador giratorio, el cual es un dispositivo electromecánico que transforma la posición angular de un eje a un código digital. (Figura 58)





Figura 58. Pantalla LCD con controlador

#### - **Pantalla táctil**

Es aquella que, mediante un contacto directo sobre su superficie, permite la entrada de datos y órdenes al dispositivo y, a su vez, muestra los resultados introducidos previamente.

En la imagen (Figura 59) se muestra una pantalla de 2.8 pulgadas TFT LCD, la cual tiene control de *backlight* por software con 65535 colores, BUS SPI y es de tipo resistivo.



Figura 59. Pantalla táctil

#### **Dispositivo móvil**

Esta propuesta consiste en utilizar un *smartphone* con conexión Bluetooth para controlar el dispositivo. Esto es posible gracias a una aplicación móvil que integre las funciones necesarias para comunicar el circuito electrónico con el sistema. Ésta se puede elaborar sin la necesidad de poseer conocimientos previos sobre programación, ya que existe una plataforma conocida como App Inventor que puede servir de guía. Se trata de un entorno de desarrollo de software, creado por Google Labs, para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. (Figura 60)

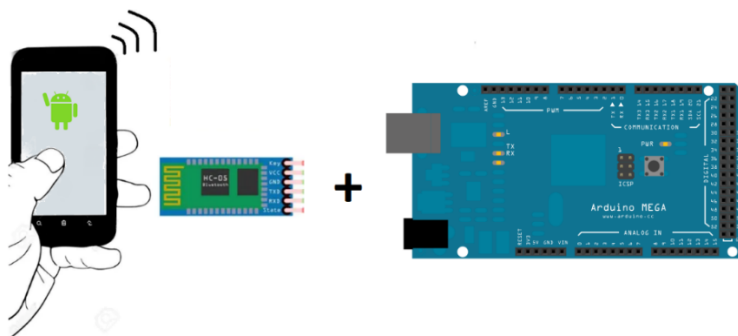


Figura 60. Dispositivo móvil con aplicación Bluetooth

### 3.3.10 PROPUESTAS SELECCIONADAS

Para seleccionar las propuestas más adecuadas de cada una de las funciones, se va a llevar a cabo un análisis más preciso mediante el método de jerarquía analítica de decisión multicriterio, donde se considerarán diferentes parámetros para cada una de ellas y se numerarán por orden de importancia. A continuación, se explica el procedimiento que se llevará a cabo con cada una: [22]

En primer lugar, se definen los valores de importancia de cada parámetro: (Tabla 4)

IMPORTANCIA	DEFINICIÓN
1	Igual Importancia
3	Dominancia Débil
7	Fuerte dominancia
2,4,5,6	Valores intermedios

Tabla 4. Valores de importancia de los parámetros

Para cada función, se establecerá una tabla con las intensidades de importancia entre los parámetros y de ésta se calcularán los pesos de cada uno de ellos mediante una media geométrica. (Ecuación 1)

$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum_{i=1}^n 1/r_i}$$

Ecuación 1. Media Geométrica

Una vez obtenida la media, se normalizan los pesos de forma que la suma total de los valores sea 1. (Ecuación 2)

$$W_j = \frac{(n - r_j + 1)}{\sum_{i=1}^n (n - r_i + 1)}$$

Ecuación 2. Media Geométrica normalizada sobre 1

Posteriormente, se establece una matriz normalizada de decisión entre valores de 0 a 1 según los parámetros que se aplican a cada una de las propuestas.

Por último, se calcula la media ponderada y se obtienen los valores de la importancia de cada propuesta; aquella que tenga más valor, será la mejor. En el apartado 1. de los Anexos se desarrollan los cálculos para cada una de las funciones. (1. *Cálculo de las Propuestas Seleccionadas*)

Una vez seleccionadas las mejores propuestas, se muestra un resumen con todas ellas:  
(Tabla 5)


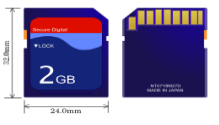
<b>FUNCIÓN ESTRUCTURAL</b>	<b>ESTRUCTURA: ALUMINIO / ABS</b>	<b>OBJETOS: ABS/PLA</b>
		
<b>FUNCIÓN DE ACCIONAMIENTO</b>	<b>HILO DE PESCA</b>	<b>CUERDA DE POLIPROPILENO</b>
		
<b>FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN</b>	<b>MOTOR DE PASOS</b>	<b>PESO FIJO</b>
		
<b>FUNCIÓN DE MEDIDA</b>	<b>DINAMÓMETRO</b>	
		
<b>FUNCIÓN DETECCIÓN</b>	<b>FINAL DE CARRERA</b>	<b>FOTOCÉLULA</b>
		
<b>FUNCIÓN DE CONTROL</b>	<b>ARDUINO MEGA</b>	
		
<b>FUNCIÓN DE REGISTRO</b>	<b>BLUETOOTH</b>	<b>TARJETA SD</b>
		
<b>FUNCIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA</b>	<b>CONEXIÓN CABLE CON LA RED</b>	<b>F. ALIMENTACIÓN CONMUTADA LABORATORIO</b>
		
<b>FUNCIÓN INTERFAZ</b>	<b>DISPOSITIVO MOVIL BLUETOOTH</b>	<b>PANTALLA DINAMÓMETRO</b>
		

Tabla 5. Resumen Mejores Propuestas

### 3.4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Una vez conocidas las mejores propuestas para solventar las necesidades de cada una de las funciones del sistema, se desarrollan diferentes alternativas su solución, donde se explicará su propósito y se decidirá cuál será la más adecuada.

#### 3.4.1 ALTERNATIVA 1. MÁQUINA UNIVERSAL DE TRACCIÓN

Esta propuesta consiste en construir un dispositivo de tracción que se pueda acoplar a la plataforma. Su funcionamiento es parecido a las máquinas conocidas coloquialmente como máquina universal de prueba de materiales (*Universal Testing machine (UTM)*)

La diferencia es que solo serviría para hacer un tipo de esfuerzo de tracción, ya que es el propósito que se busca en este proyecto. (Figura 61)



Figura 61. Universal Testing Machine (UTM)

En la *Figura 62* se observa un boceto de la alternativa. Este dispositivo, constaría de un motor con husillo en uno de sus laterales, provisto de unas guías para que una tuerca siguiera un movimiento lineal por cada vuelta que diera. En el otro lado del dispositivo, habría otro husillo con guías alineado con un sistema de cadena formado con un piñón en el extremo superior, para que ambos lados de la máquina llevaran el mismo movimiento.

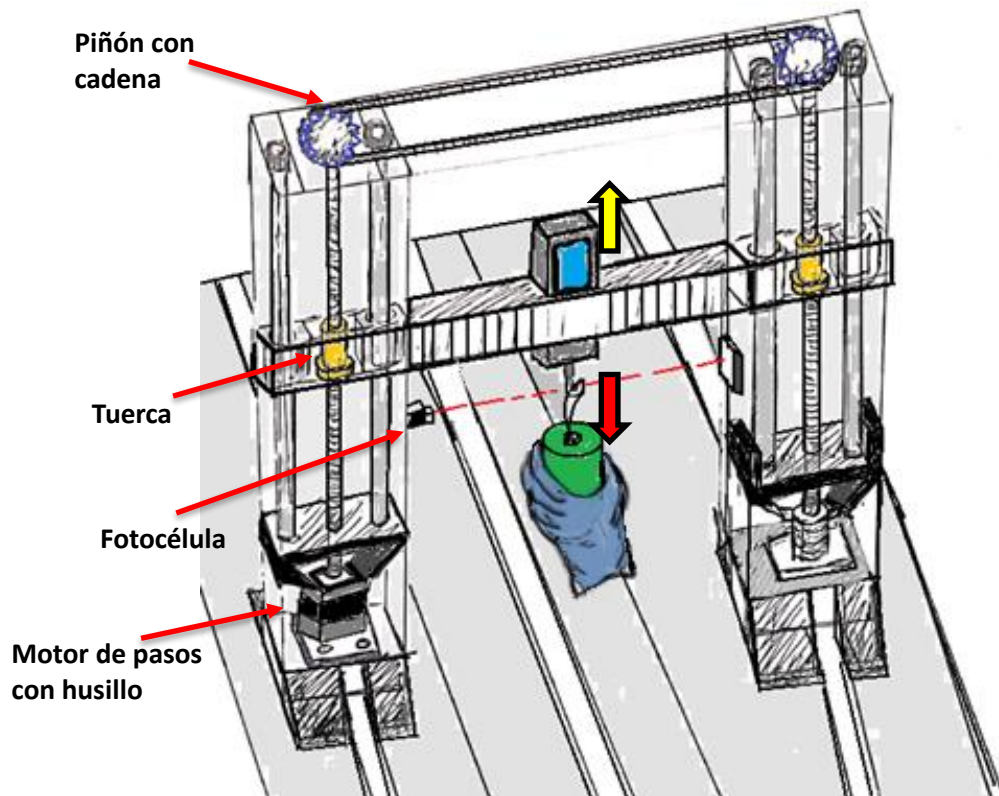


Figura 62. Alternativa 1-Máquina de Tracción

Esta tuerca llevaría un mecanismo que uniría una plataforma horizontalmente en ambos lados y, en el centro, tendría un dinamómetro para que midiera la fuerza del ensayo.

Este sistema contaría con un enganche al que iría unido un hilo metálico o cuerda y, al otro extremo, se colocaría el objeto con la mano artificial.

Puesto que el sistema tiene ser capaz de permitir el ensayo en las tres direcciones espaciales (3.2 Especificaciones), la medición se realizaría orientando la mano artificial en la dirección deseada como se observa en la Figura 63 .



Figura 63. Orientación de la mano para ensayos

En el caso de la dirección distal-proximal habría que desarrollar un mecanismo que permitiera abatir la estructura para orientar la mano en dicha dirección.

La forma de detectar si pierde el agarre y que se detenga el ensayo, sería colocando una fotocélula en alguno de los laterales de las guías a una determinada distancia. Una vez terminado el ensayo, se obtendría la lectura de fuerza máxima de agarre directamente en el dinamómetro digital.

### 3.4.2 ALTERNATIVA 2. SISTEMA DE PALANCA

Consiste en utilizar un sistema mecánico que transmita fuerzas superiores mediante el aumento de la distancia a lo largo de una barra rígida. Esta palanca, tendría de referencia un apoyo, en el que se diferencian dos longitudes. En primer lugar, en el brazo corto de la palanca se colocaría el objeto, en este caso es donde estaría la mano agarrando y, en segundo lugar, en el brazo largo se situaría una pesa, la cual se iría desplazando hasta que se pierda el agarre de la mano. Si esto último llegara a suceder, sabiendo la longitud del brazo y el peso utilizado, se podría obtener el valor de la fuerza máxima de agarre. (Figura 64)

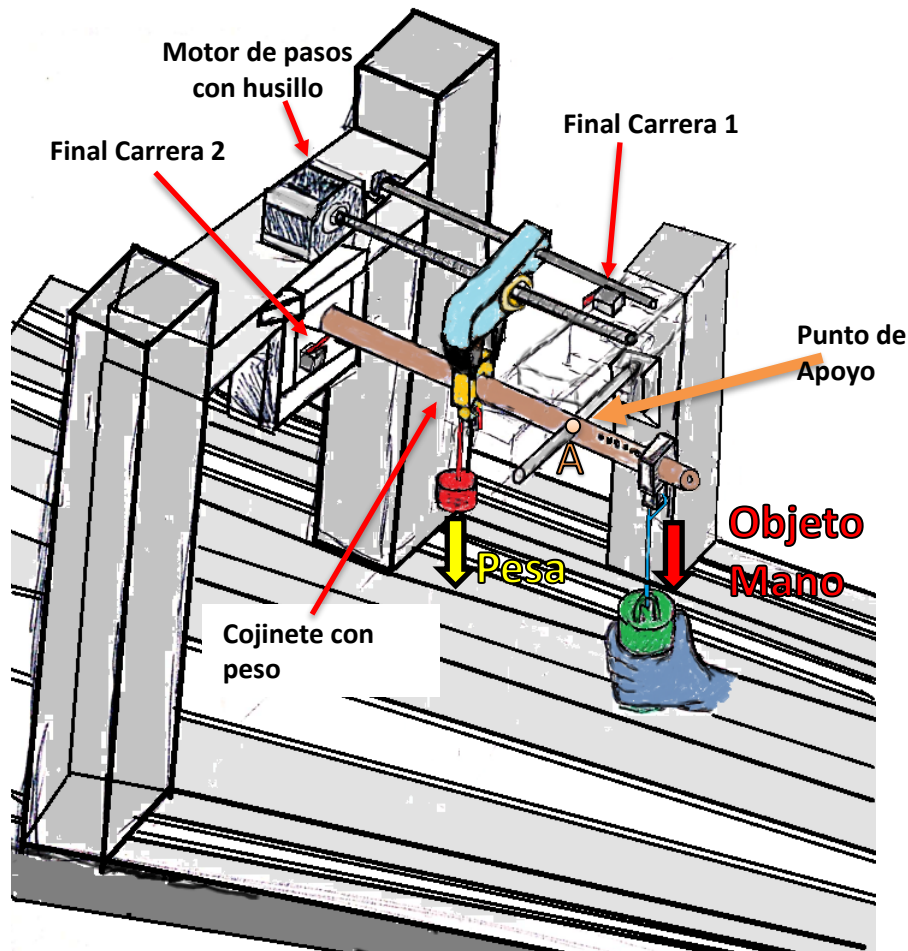


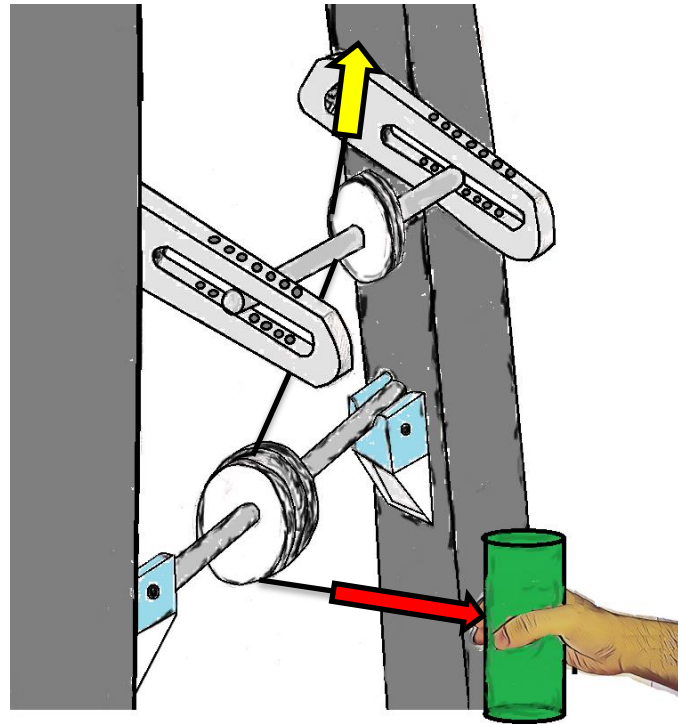
Figura 64. Alternativa 2- Sistema de Palanca

El aumento de la distancia sobre la barra y el incremento de fuerza, se produciría desplazando el punto aplicado de la fuerza sobre la barra por medio de un husillo con una tuerca que estaría girando por un motor de pasos. Esto se realizaría conectando, sin fijar a la tuerca, un cojinete situado en el eje de la barra y que, a su vez, tendría colgado un determinado peso. Cuando la tuerca se moviera, iría desplazando conjuntamente el cojinete a lo largo de la barra y, por lo tanto, la fuerza en el extremo iría aumentando.



A la hora de detectar la pérdida de agarre, se posiciona un final de carrera en uno de los extremos de la barra (*Figura 64*) para que, cuando contacte, se pueda parar el ensayo y verificar los datos de desplazamiento junto con el peso utilizado.

Para poder realizar el ensayo en las tres direcciones espaciales, se realizaría un cambio de orientación de la mano artificial en la dirección deseada, como se observa en la *Figura 63* y se utilizaría un sistema de poleas para la dirección Distal-Proximal (*Figura 65*). Este sistema constaría de una polea permaneciera siempre fija en la estructura, y de otra que contara con un mecanismo con tornillos, de manera que permitiera retirarlo cuando no se estuviera midiendo.



*Figura 65. Dispositivo Sistema de Poleas*

### 3.4.3 ALTERNATIVA SELECCIONADA

Las alternativas explicadas anteriormente son las que se han considerado en este apartado como posibles soluciones.

Se ha hecho un análisis más preciso mediante el método de jerarquía analítica de decisión multicriterio, que se ha utilizado en el apartado de las funciones del sistema (3.3.10. *Propuestas Seleccionadas*), donde se han considerado cuatro parámetros:

- Validez: la capacidad que tiene el dispositivo para realizar la medida en las tres direcciones de la fuerza con la suficiente precisión.
- Sencillez: la facilidad de comprensión de uso del dispositivo y la simplicidad de sus componentes.
- Precio: el coste de su construcción y de la durabilidad de los componentes, es decir, una vez superada su vida útil que sea barato de reemplazar.
- Montaje: la facilidad de ensamblar el dispositivo en la plataforma además del tiempo que costaría ajustar el sistema a cada ensayo.

El cálculo correspondiente al estudio de las alternativas se encontrará más en detalle en el apartado de Anexos (1.10. *Cálculo de la Alternativa Seleccionada*). Una vez aplicado el método de análisis y valorado los resultados obtenidos, se selecciona la Alternativa 2 como la mejor propuesta y en la que se centrará el diseño del sistema de palanca.

Mediante los análisis, se contemplan las ventajas y los inconvenientes de cada alternativa y, con ello, se presentan las siguientes observaciones:

- El sistema de palanca es la única propuesta que cumple con todas las especificaciones establecidas para el proyecto ya que, la Alternativa 1, solo se puede utilizar para dos direcciones.
- Para la máquina de tracción, se ha estudiado la realización de algún ajuste para que la base tuviera un mecanismo que girara 90° la estructura y, así, cumpliera con el requisito de las tres direcciones espaciales. Con todo ello, se ha concluido que dejaría de ser simple e igual de funcional.
- El mecanismo de la máquina de tracción supone un precio más alto, además de la durabilidad de la cadena o de los piñones que supondría más gastos en recambios.



#### 4. DISEÑO DE DETALLE

En el presente apartado se describe el diseño de detalle, a partir de la alternativa seleccionada en la etapa de diseño conceptual, y, se incluye toda la información referente a la elaboración del dispositivo, donde se describirán todos los componentes desde la estructura hasta la parte electrónica, además de los objetos que se utilizarán en los ensayos.

En primer lugar, se mostrará la composición final con todos los subconjuntos que forman el dispositivo, donde se aprecia su posición correspondiente y, las uniones que enlazan cada uno de ellos.

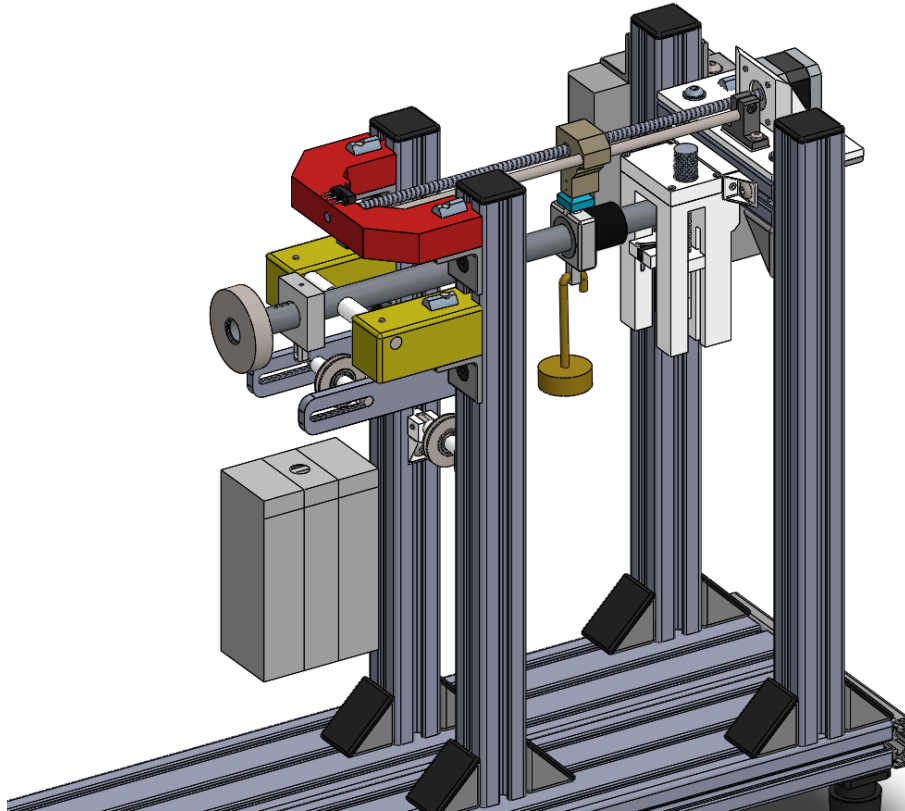


Figura 66. Dispositivo Sistema de Palanca – Vista 1

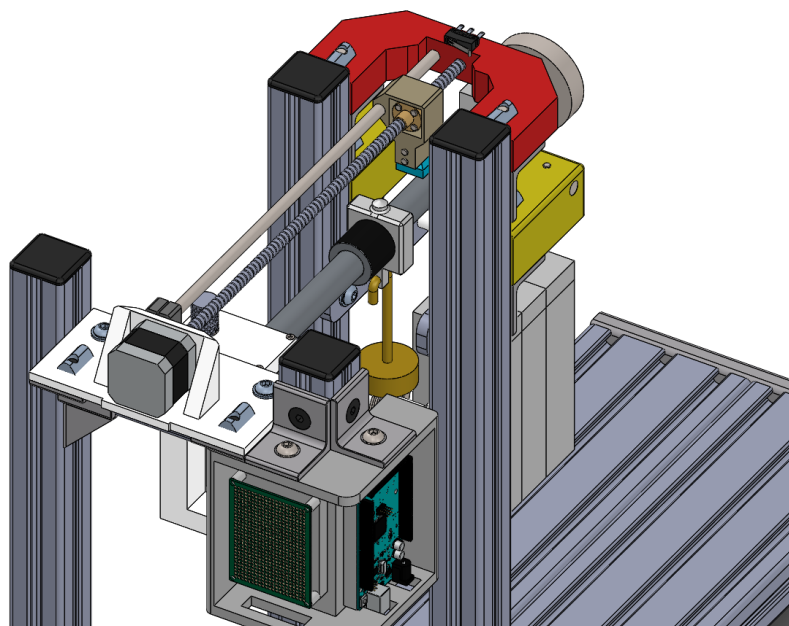
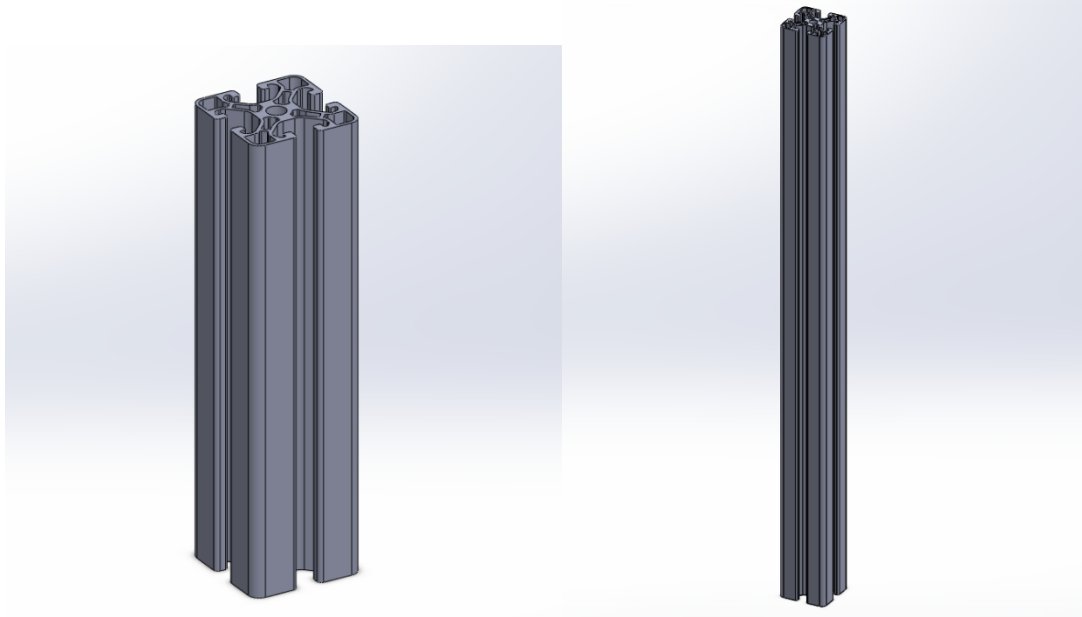


Figura 67. Dispositivo Sistema de Palanca - Vista 2

A continuación, los componentes del dispositivo se agruparán en varios subconjuntos y cada uno de ellos integrará diferentes funciones del sistema:

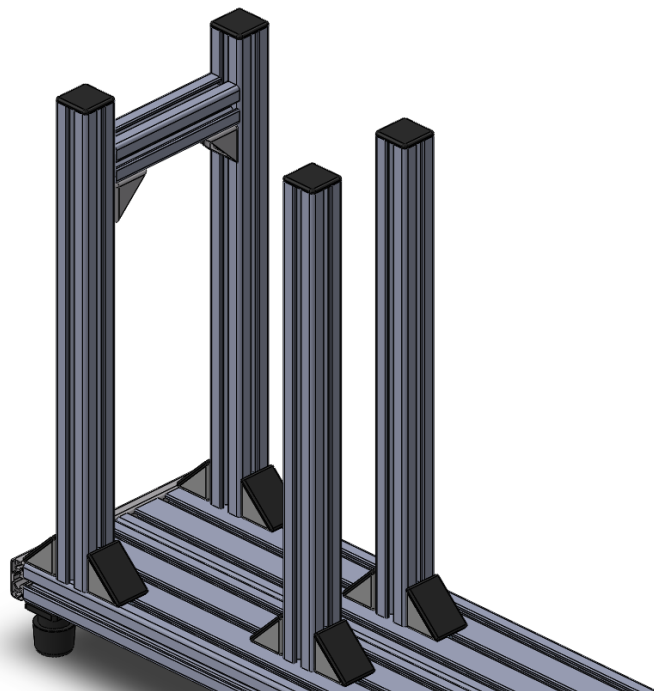
#### 4.1. ESTRUCTURA DEL DISPOSITIVO

Este subconjunto está formado por los componentes que sostienen el dispositivo, se trata de unos perfiles de aluminio que estarán fijados sobre la *PACMAR*. Hay dos tipos de perfil uno de 500 mm y otro de 160 mm de largo. El más largo, se encuentra en toda la estructura que sostiene el dispositivo y, el más corto, hace de unión entre dos de los perfiles. Este último, se utiliza principalmente para sustentar el motor con el husillo.



*Figura 68. Perfiles de Aluminio - Estructura del Dispositivo*

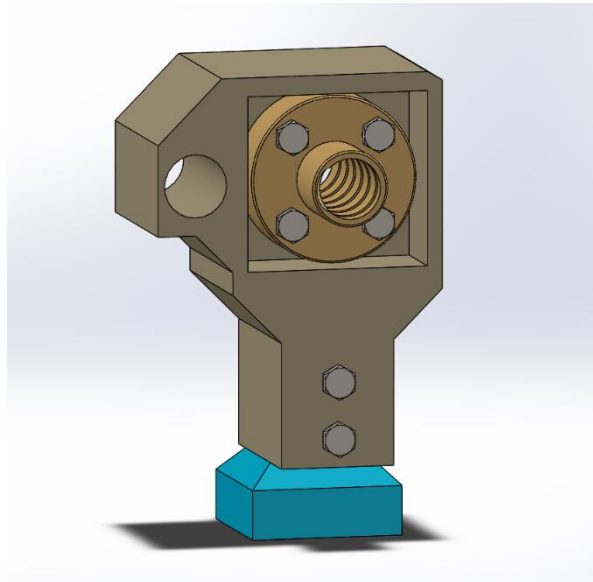
Uniendo los perfiles con escuadras y posicionando cada pieza con las dimensiones adecuadas, se forma la composición de la estructura del dispositivo. En el apartado de *Planos* se observarán las dimensiones con más detalle.



*Figura 69. Estructura del Dispositivo*

## 4.2. SUBCONJUNTO MOTOR HUSILLO

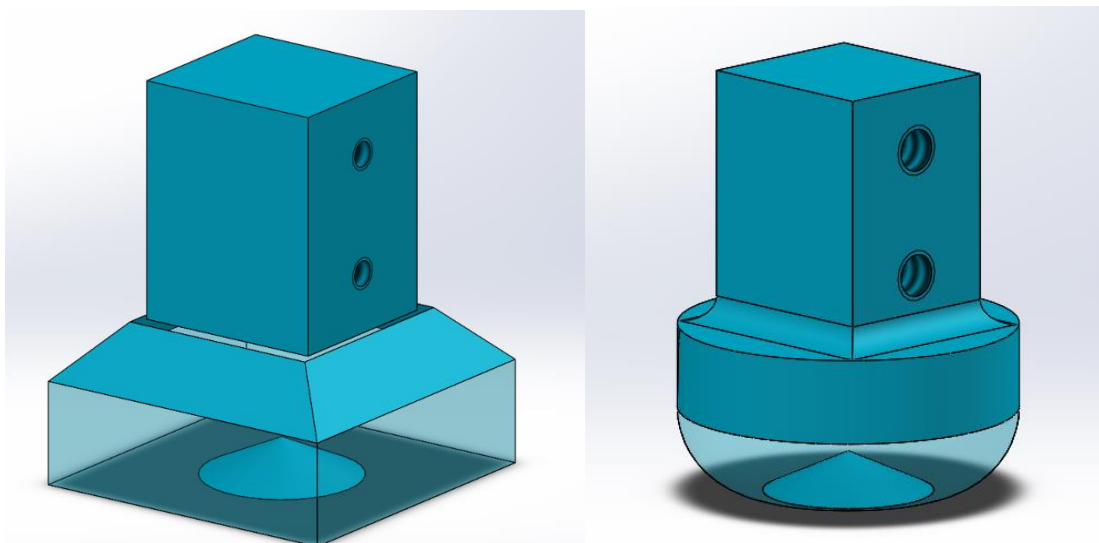
Este subconjunto tiene la función de desplazar la pesa, la cual está situada en el brazo largo de palanca. En relación al desplazamiento de las piezas del subconjunto, se sitúa la pieza de unión, la cual está orientada hacia al punto aplicado de la fuerza y, además, está en conexión tanto con el husillo como con un cojinete que sujetará un peso.



*Figura 70. Unión Husillo-Cojinete*

Esta pieza consta de dos partes:

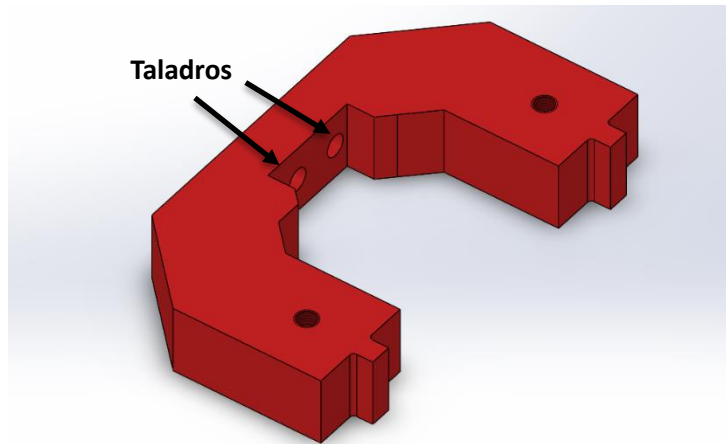
- Una tuerca: se introduce en el eje del husillo y gira por el movimiento que otorga el motor de pasos.
- Un cabezal: se introduce en la cara inferior de la pieza, para hacer unión con el cojinete de la barra de palanca. Respecto a su diseño, tiene dos taladros para que pueda ser intercambiable por otros diseños de cabezal y, además, tiene una ranura con forma cónica, esto se debe, al extremo de la pieza, el cual encaja desde el cojinete. (Figura 71)



*Figura 71. Cabezal Cónico*

Como el desplazamiento es lineal, se precisa de un elemento que impida la rotación de la pieza y que oriente el movimiento en el plano transversal o axial. Para ello, se utiliza una guía de acero inoxidable paralela al husillo. Esto justifica que la pieza disponga de un taladro pasante paralelo a donde se introduce la tuerca.

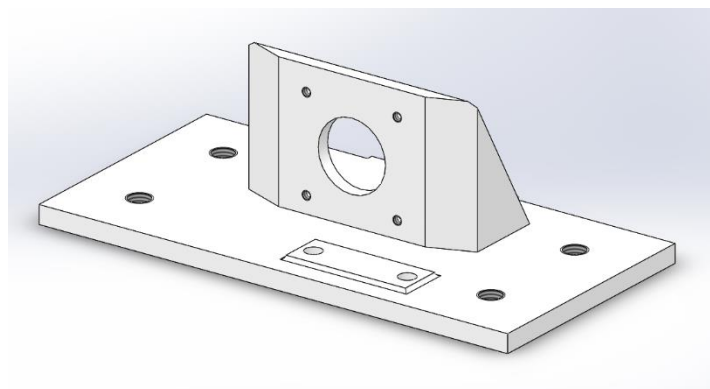
En cuanto al soporte que sujeta el husillo y la guía (Figura 72), se ha diseñado una pieza que mediante un taladro y un taladro pasante se ajustarán de forma sencilla. Destaca su diseño con forma de voladizo respecto a la estructura y, esto se debe, a la alineación necesaria del punto de apoyo de la palanca con el recorrido de la pieza de unión, ya que el desplazamiento se inicia desde el punto más próximo al apoyo y, se precisa de una abertura que permita sujetar la pieza con la estructura.



*Figura 72. Pieza Soporte Husillo-Guía*

Para controlar el desplazamiento desde la posición correcta, se coloca en la cara superior de la pieza un final de carrera (Figura 75), y, éste, detectará la posición cuando contacte con la pieza que une con la tuerca. Mediante el sistema de control, se configura de manera que se establezca una posición de partida para la realización de ensayos.

La pieza que sujeta el motor de pasos consta de unos taladros pasantes, para su sujeción en la estructura, y, para el mismo motor (Figura 73). Presenta un diseño, en el cual se observa en la cara superior unas paredes delgadas con agujeros, donde se posicionará el motor, y, además, un resalto frente a dichas paredes. Este resalto, se utiliza tanto para posicionar el soporte (Figura 74) como para alinear la guía, ya que la altura a donde se posiciona el eje del husillo, es ligeramente superior respecto a la que tiene el soporte donde se apoya.



*Figura 73. Plataforma Soporte Motor de pasos*



Figura 74. Soporte de Aluminio SK8 - Guía

Una vez definidos todos los componentes del subconjunto, se observa la composición del mecanismo de desplazamiento. (Figura 75)

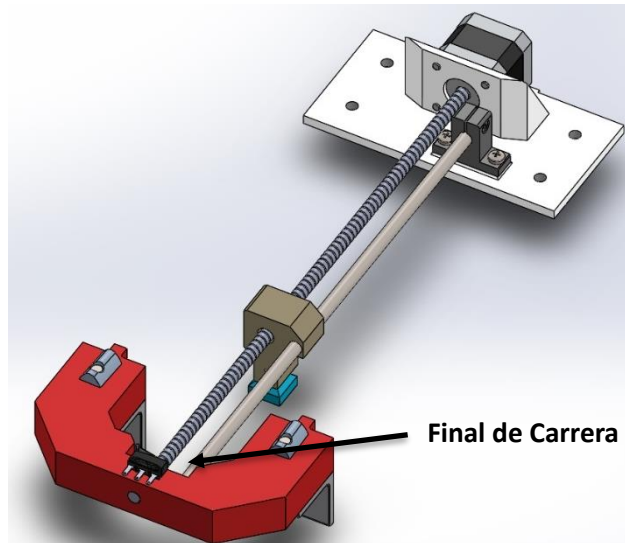


Figura 75. Subconjunto Husillo-Motor

#### 4.3. SUBCONJUNTO PALANCA

Este subconjunto, es la base del funcionamiento del dispositivo, ya que es la parte donde se encuentran los componentes que producen la pérdida de agarre de la mano artificial. En primer lugar, se encuentra la barra que hace de palanca, la cual se trata de un tubo hueco de acero inoxidable y, sobre ella, se colocarán: el cojinete, el cual deslizará a lo largo del brazo largo, y, otra pieza, la cual se fijará y utilizará en el brazo corto, como unión con el objeto.



Figura 76. Tubo Hueco - Sistema de Palanca

Cabe añadir que, la idea inicial era utilizar un tubo rígido para el dispositivo, pero, como forma de aliviar peso sobre la estructura, se ha optado por utilizar un tubo hueco que tenga suficiente rigidez.

Este tubo consta de una serie de huecos o taladros:

- **Taladro pasante:** ubicado en la en el punto de apoyo, es el enlace del tubo con la varilla que está sujeta a la estructura, entre ambos se encuentra un cojinete de fricción.
- **Taladros:** ubicados en la zona distal del brazo corto, se utilizan para fijar la pieza que sujeta el objeto en diferentes posiciones.
- **Rosca:** ubicada en el extremo del brazo corto, se utiliza para fijar un contrapeso en el sistema.

Las dimensiones que presenta el tubo son:

DIÁMETRO INTERIOR	$D_{IN}$	16 mm
DIÁMETRO EXTERIOR	$D_{OUT}$	20 mm
LONG. BRAZO LARGO	$L_{BRAZO}$	280 mm
LONG. BRAZO CORTO	$L_{RESISTENTE}$	90 mm
LONGITUD BARRA	$L$	370 mm

Tabla 6. Dimensiones Tubo Hueco - Sistema de Palanca

Los diámetros de los taladros y el taladro pasante son de 3 y 12 mm respectivamente, el número de taladros se debe a las posiciones de ajuste, los cuales se fijará la pieza que tira del objeto. (Figura 77)

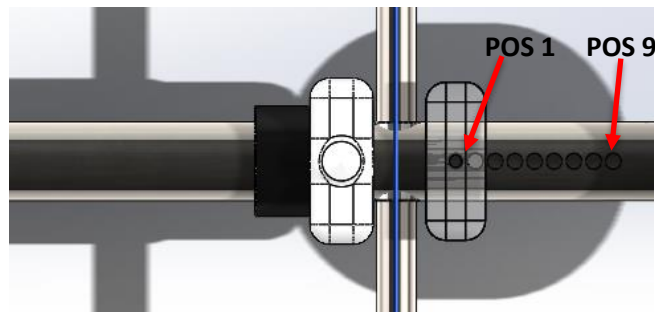


Figura 77. Posiciones Brazo Corto - Sistema de Palanca

El componente que sostiene todo el peso del sistema de palanca, es la varilla la cual hace de enlace con la estructura. Esta varilla, es de acero inoxidable y, mediante un cojinete de baja fricción, el sistema girará alrededor del eje cuando se accione por las fuerzas implicadas.

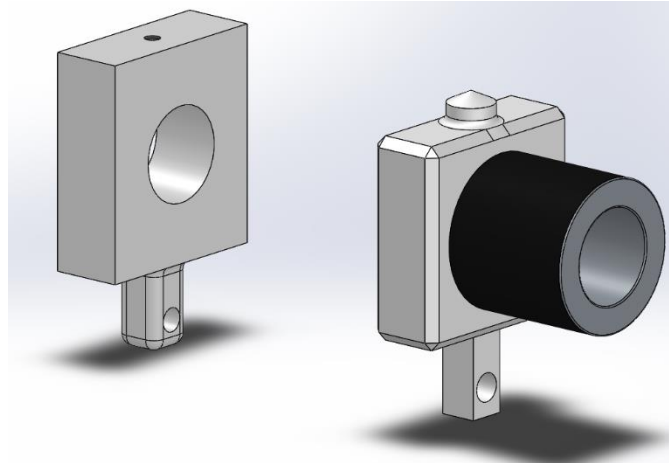
Como la varilla debe ser lo suficiente resistente para aguantar las fuerzas que intervienen en los ensayos, se realizará un estudio más preciso de su resistencia. En los Anexos (3. *Estudio Estático*) se amplía el análisis correspondiente.

El cojinete que se utiliza para deslizarse por el tubo, se trata de un casquillo lineal, estará unido a una pieza, la cual se le ha denominado **cojinete brazo**, que tiene un diseño de modo que penetra en el cabezal que corresponde al husillo. Presenta el siguiente diseño:

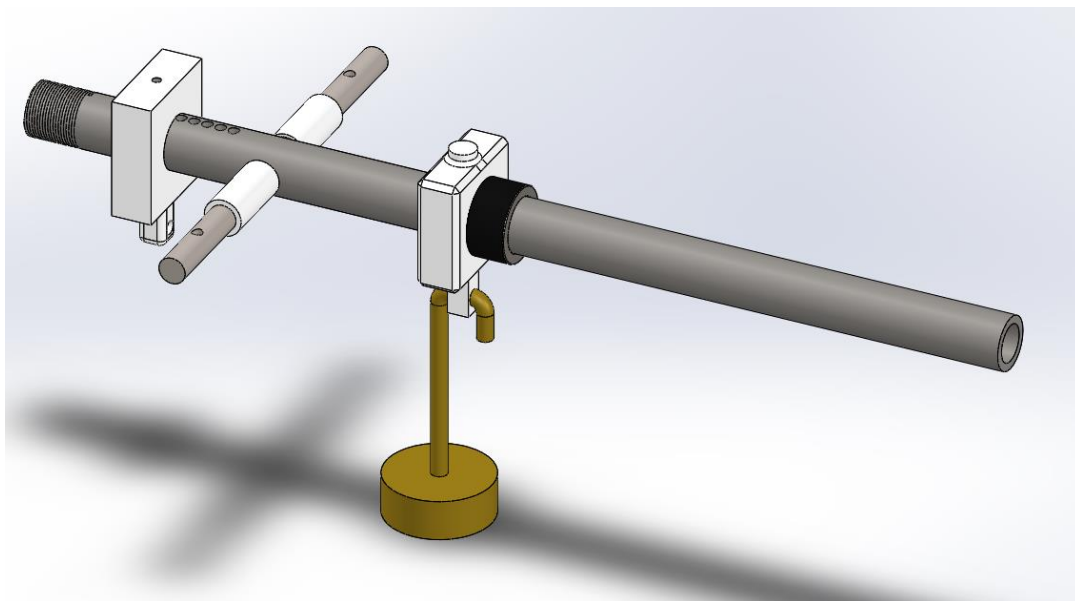
- Dispone de una punta cónica en la cara superior y seguirá el desplazamiento del cabezal hasta que se supere la fuerza de agarre.
- Dispone de un extremo en la cara inferior que se utilizará para enganchar los pesos que se utilicen en los ensayos.

La otra pieza que se coloca en el brazo corto es parecida a la anterior, se le ha denominado **cojinete resistente**. (Figura 78) Este presenta el siguiente diseño:

- Dispone de un taladro pasante en la cara superior, el cual sirve para fijar la posición de tirar el objeto respecto al punto de apoyo, esto se realizará mediante tornillos prisioneros.
- Dispone de un extremo en la cara inferior que servirá para enganchar el hilo o cuerda que une el objeto a tirar.



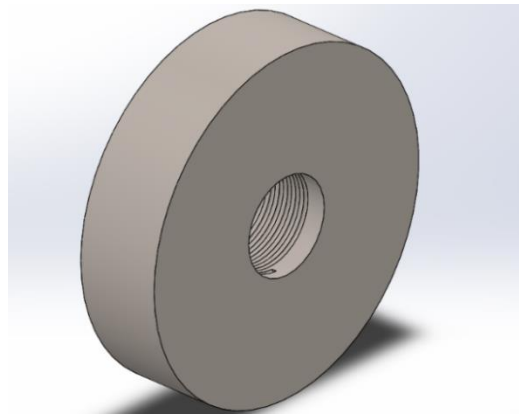
*Figura 78. Cojinete Resistente y Cojinete Brazo*



*Figura 79. Sistema de Palanca con Cojinetes y Pesa*

Como los componentes que forman parte del sistema tienen su propio peso, la palanca se acciona antes de lo debido, ya que se produce el giro alrededor del apoyo. Para solucionar esto, se necesitará equilibrar las fuerzas que inciden en el sistema utilizando un contrapeso, el cual irá ubicado en el extremo del brazo corto. Respecto a las dimensiones y peso del contrapeso, además del recorrido para su ajuste, se realizarán una serie de cálculos que se encontrarán en el Anexo (2.1. y 2.2. Desarrollo de Cálculos).

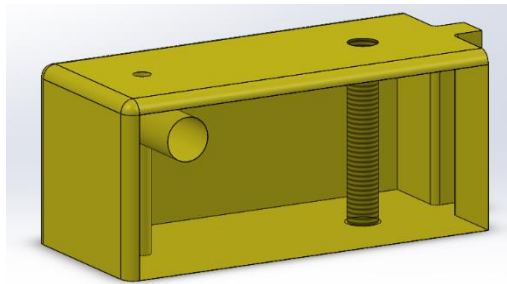




*Figura 80. Contrapeso – Sistema de Palanca*

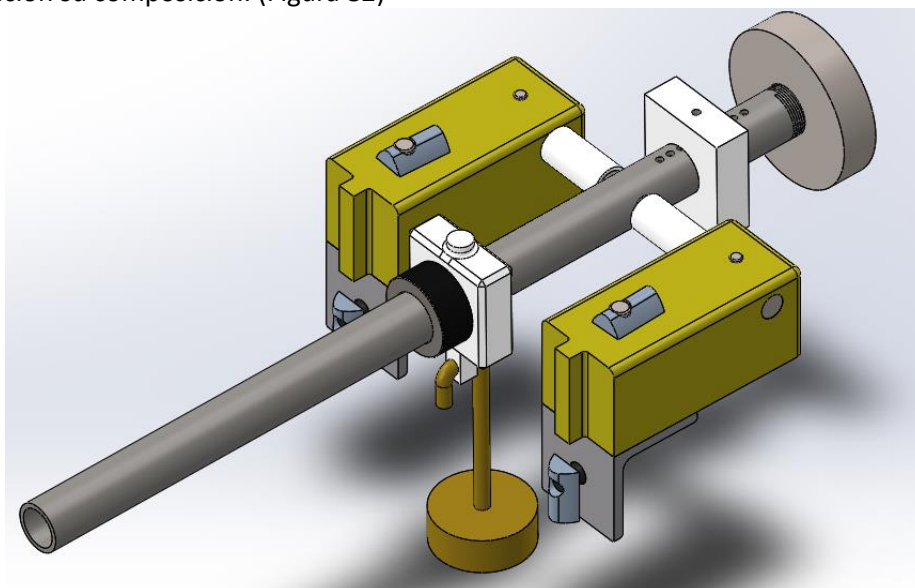
En cuanto al soporte que sujeta el sistema de palanca con la estructura, se ha diseñado una pieza que mediante un taladro pasante se introduce la varilla con la que se une el tubo que corresponde a la palanca del dispositivo. Destaca su diseño con forma de voladizo, al igual que en el soporte del husillo, por la alineación necesaria del punto de apoyo con el recorrido de la pieza de unión. (Figura 81)

Además, tiene un taladro en la cara inferior que se utiliza para fijar una pletina, la cual unirá el soporte con el perfil de aluminio de la estructura; y el otro taladro que resta, se utiliza para colocar un pasador, el cual fijará la varilla una vez se introduzca en la cavidad del taladro pasante.



*Figura 81. Soporte - Sistema de Palanca*

Una vez definidos todos los componentes del subconjunto que forma la palanca, se observa a continuación su composición. (Figura 82)



*Figura 82. Sistema de Palanca*



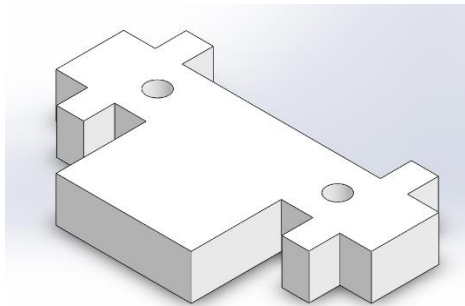
#### 4.4. SISTEMA DE REGULACIÓN DE ALTURA

Este subconjunto tiene la función de detectar la pérdida de agarre de la mano y regular la altura a la que contacta la palanca con el final de carrera. Estará ubicado en la zona de contacto del extremo del brazo largo.

Cabe señalar que, al cambiar la posición del cojinete resistente en el brazo corto (*Figura 77*), la altura donde contacta con el brazo largo también variará, por ello, se deben de hacer cálculos necesarios para los ajustes de altura y, éstos, se encontrarán en el apartado 2.4. los Anexos. (2.4. *Regulación de Altura*)

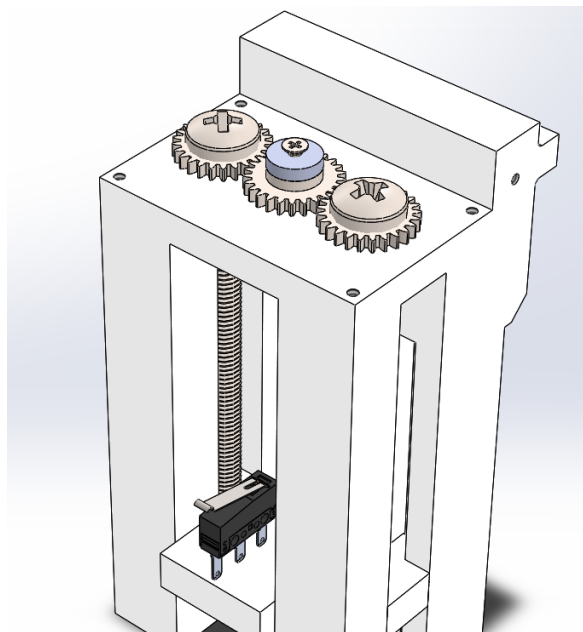
Se ha diseñado un sistema que estará formado por los siguientes componentes:

1. **Base:** se trata de una pieza que se utiliza de nexo de unión entre los componentes y la estructura del dispositivo. Su diseño consiste en un conjunto de orificios y secciones, los cuales se utilizan para: colocar tres engranajes en la cara superior y una plataforma entre las secciones.
2. **Plataforma:** se trata de la pieza en la que irá fijado el final de carrera y, por medio de un mecanismo, se desplazará para ajustarse a la posición adecuada. (*Figura 83*)



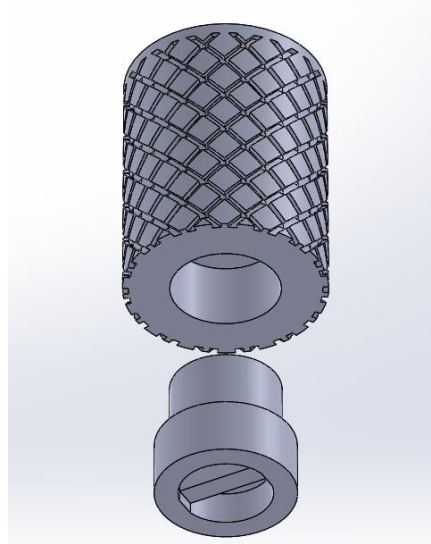
*Figura 83. Plataforma - Sistema de Regulación de Altura*

3. **Engranajes rectos:** se trata de tres ruedas dentadas, que se ubicarán en los orificios de la base y permitirán formar el mecanismo para desplazar la plataforma. Los dos engranajes que están a los extremos, estarán unidos a dos tornillos largos, por los cuales se desplaza la plataforma.



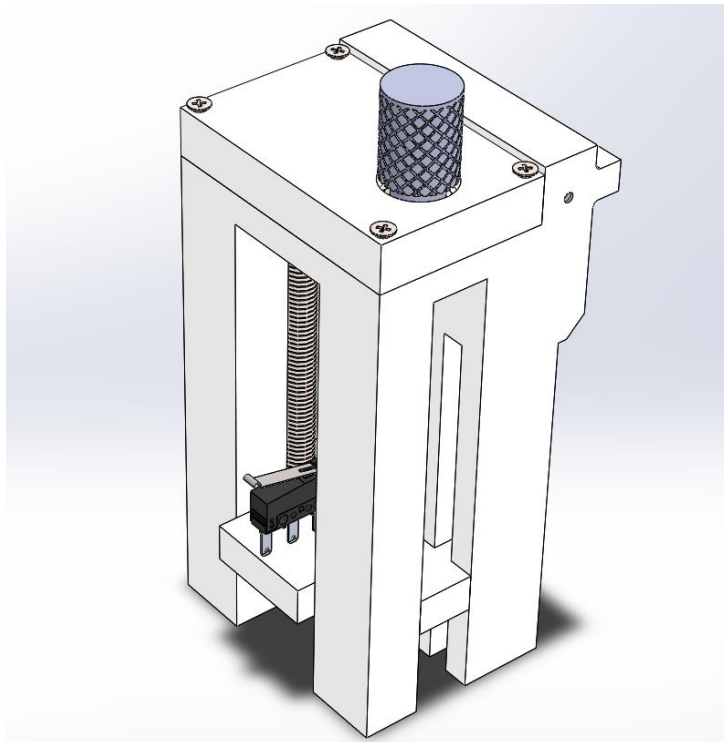
*Figura 84. Base con Engranajes y Plataforma – Sistema de Regulación de Altura*

4. **Tapa superior:** se trata de una pieza que recubre el mecanismo formado por los engranajes y, en su contorno, se encuentran cuatro taladros pasantes que, por medio de tornillos, se fijarán a la base.
5. **Pivote giratorio:** se trata de un extremo cilíndrico que se insertará en uno de los engranajes y que, por medio de un accionamiento manual, provocará el movimiento del mecanismo.
6. **Encaje pivote:** se trata de una pieza cilíndrica que sirve de unión entre el tornillo y el pivote. Su diseño está formado: por un lado, un resalto que encaja en las hendiduras del tornillo y, por otro, una cara lisa que se ajusta a la cavidad del pivote.



*Figura 85. Pivote Giratorio y Encaje Pivote - Sistema de Regulación de Altura*

Una vez definidos todos los componentes del subconjunto que forma el sistema de regulación de altura, se observa a continuación su composición:



*Figura 86. Sistema de Regulación de Altura*

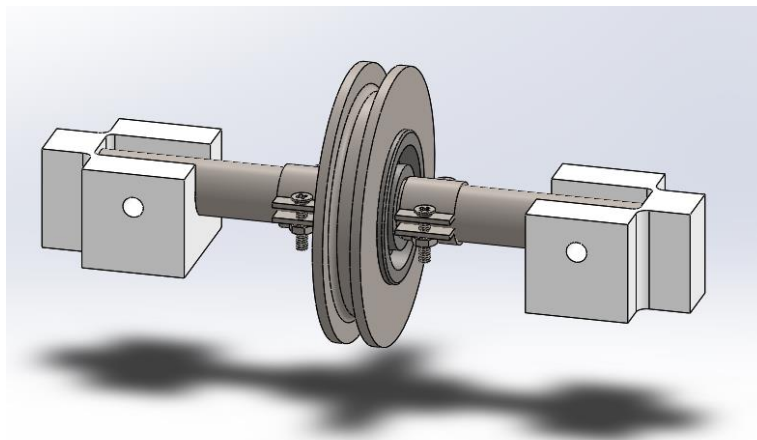
## 4.5. SISTEMA DE POLEAS

El sistema de poleas tiene la función de permitir la medición en las tres direcciones espaciales. Está formado por dos conjuntos de poleas, una de ellas estará fija en la misma estructura del dispositivo y, la otra, será móvil y se apartará del ensayo cuando no sea necesario su uso.

### 4.5.1 SISTEMA FIJO

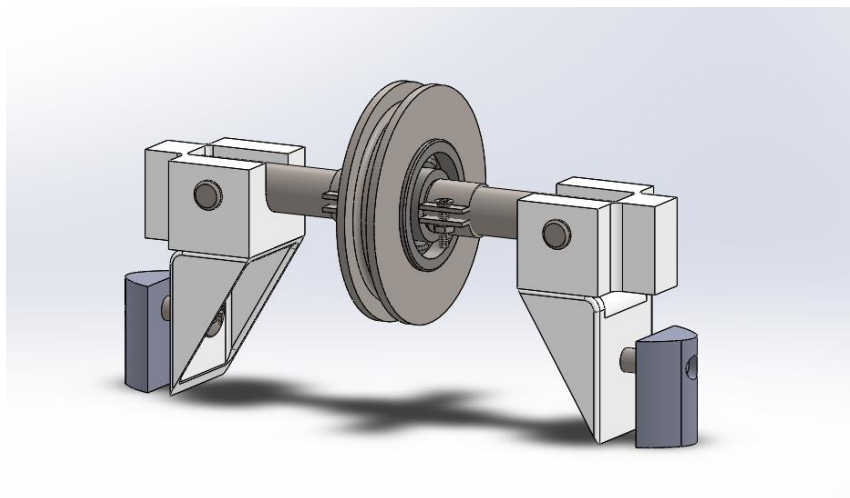
El sistema consiste en una polea unida a un rodamiento, la cual se utiliza de transmisión de fuerzas entre el objeto y, el peso, el cual se aplica en el extremo de la palanca. Estará fija con unos topes en la mitad de una varilla y, en sus extremos, se utilizarán unos soportes con unos pasadores para que el sistema pueda ser extraído fácilmente.

La posición respecto al objeto deberá ser lo más lineal posible para que no se generen fuerzas de rozamiento al tirar del objeto.



*Figura 87. Sistema Fijo con soportes - Sistema de Poleas*

Para que se pueda anclar a la estructura, se ha diseñado unas escuadras que se ajustarán a las cavidades del perfil de aluminio.



*Figura 88. Sistema Fijo con Escuadras - Sistema de Poleas*

#### 4.5.2 SISTEMA MÓVIL

El sistema consiste en una polea unida a un rodamiento, al igual que el sistema anterior, pero se utiliza de transmisión de fuerzas entre el peso y, la otra polea fija, la cual estará ubicada paralelamente. Su diseño consiste en un par de pletinas con dos cavidades, donde se introducirá una varilla con la polea y, ésta, estará fija en el centro de la varilla con unos topes. Estas pletinas tienen unos taladros ubicados perpendicularmente a su cavidad y se utilizarán para ajustar la posición del ensayo, tal y como se explicaba en el subconjunto de palanca (4.3. Subconjunto de Palanca).

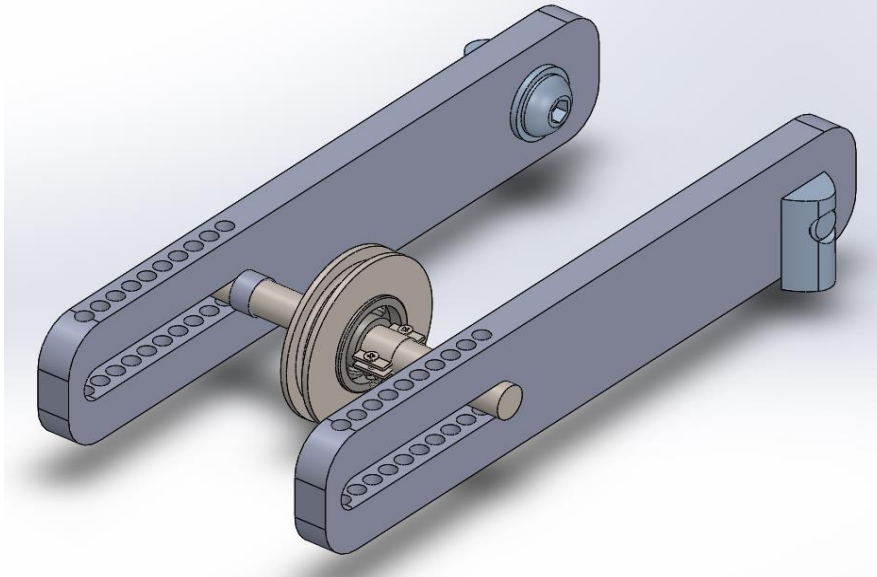


Figura 89. Sistema Móvil - Sistema de Poleas

En los extremos de la pletina, por medio de unos tornillos se fijarán a la estructura y, se aflojarán, cuando no se necesite su uso, permitiendo así, replegar el sistema para que no ocupe espacio.

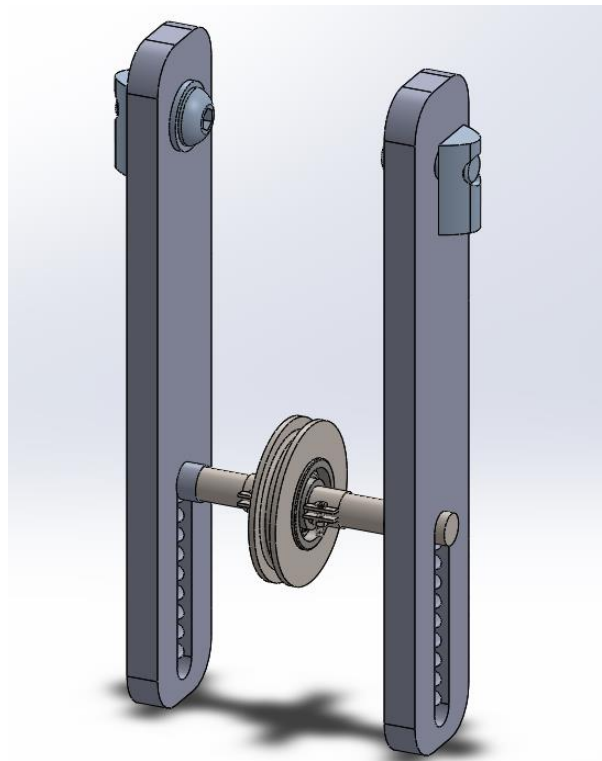
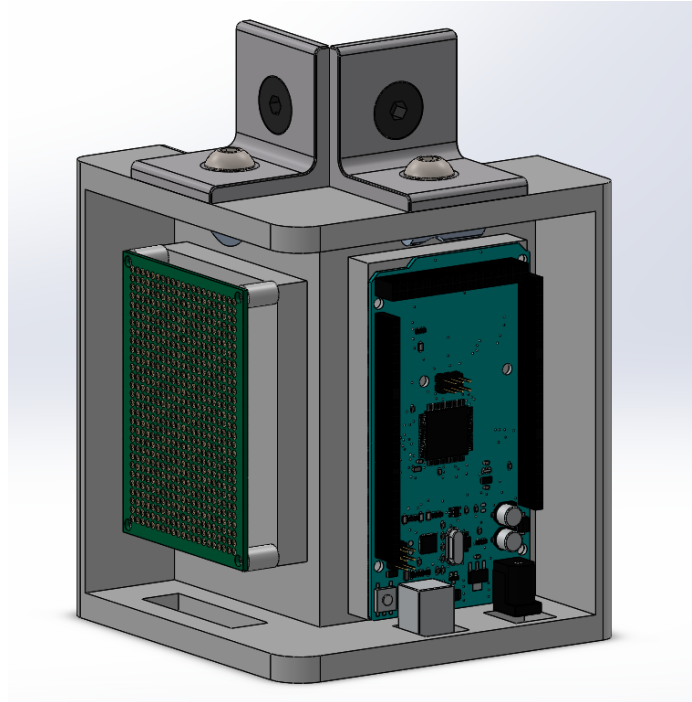


Figura 90. Sistema Móvil Replegado - Sistema de Poleas

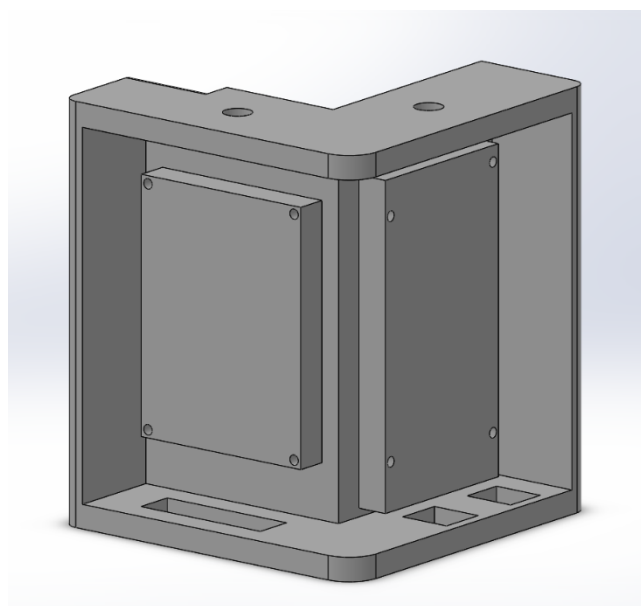
## 4.6. SISTEMA ELECTRÓNICO

El sistema electrónico está formado por: una placa Arduino Mega 2560 Rev3, un módulo Bluetooth HC-05, un cable USB, dos sensores finales de carrera, un motor de pasos, un driver o controlador para el motor, una placa protoboard para hacer el conexionado de cables, resistencias, un condensador y una fuente de alimentación externa para alimentar el motor de pasos con la intensidad y voltaje adecuados. El control del sistema se llevará a cabo con una aplicación Android que usará desde un smartphone vía Bluetooth.

Para facilitar la portabilidad del circuito se ha diseñado una carcasa donde estarán el conjunto del sistema electrónico. En primer lugar, se muestra la composición junto con la placa PCB donde se sitúa el resto de componentes.

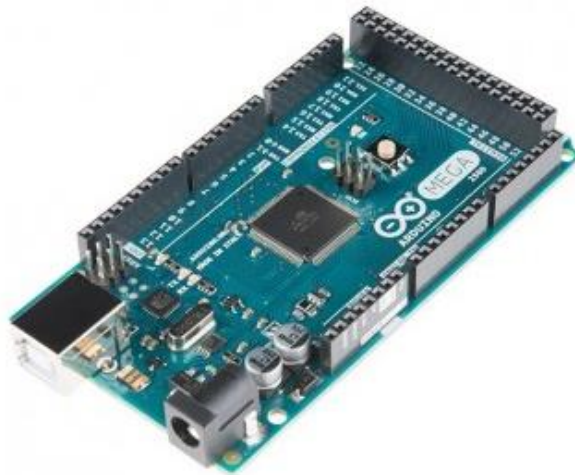


*Figura 91. Carcasa con Circuito Electrónico*



*Figura 92. Carcasa*

El Arduino Mega está conectado a un ordenador por el puerto serie, mediante un cable USB universal que tiene salida Jack para conectar.



*Figura 93. Arduino Mega 2560 rev3 – Sistema Electrónico*

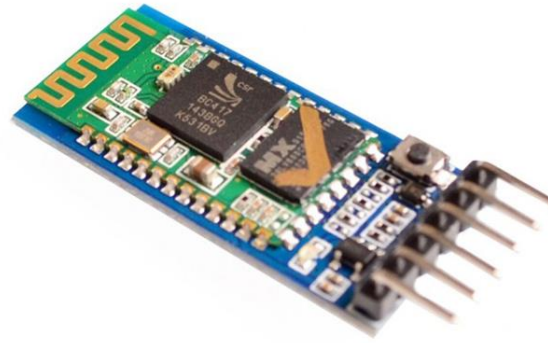


*Figura 94. Cable USB y Set de Cables para Conexión – Sistema Electrónico*

El módulo Bluetooth se conecta al Arduino Mega por medio de un set de cables, el cual se mostrará con el resto de componentes el conexionado del circuito, a continuación, se muestran las características técnicas que presentan el Arduino y el módulo Bluetooth:

Arduino MEGA 2560 rev3		Módulo Bluetooth HC-05	
Microcontrolador	Atmega2560	Compatible con Bluetooth V2.0	
Voltaje Operativo	5V	Voltaje de Entrada	3.3 - 6 V DC
Tensión de entrada	7-12 V	Voltaje de Operación	3.3 V DC
Voltaje de Entrada (Límites)	6-20 V	Baud rate ajustable	1200 - 115200
Pines digitales de Entrada/Salida	54 (14 PWM)	Baud rate por defecto	9600
Pines análogos de entrada	16	Tamaño	4,4 x 1,6 x 0,7 cm
Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida	40 mA	Corriente de Operación	< 40 mA
Corriente DC entregada en el Pin 3.3V	50 mA	Corriente modo Sleep	< 1 mA
Memoria Flash	256 KB		
SRAM	8 KB		
EEPROM	4 KB		
Clock Speed	16 MHz		

*Tabla 7. Características Técnicas - Sistema Electrónico*

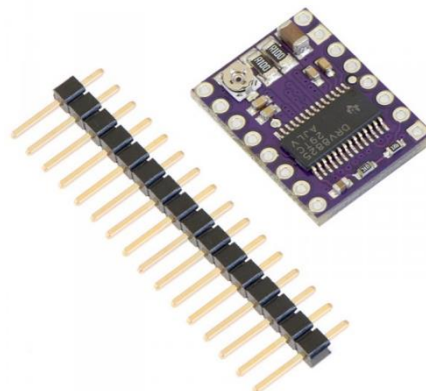


*Figura 95. Módulo Bluetooth HC-05 – Sistema Electrónico*

El motor de pasos, se trata de un NEMA 17 bipolar, el cual tiene un husillo integrado en su interior. Este motor, se utiliza por medio de un driver o controlador DRV8825, ya que, se necesita un elemento que limite y controle, tanto la corriente que se dirige hacia al motor como los pasos para mover el husillo. Este driver, se deberá ajustar la corriente antes de poner a funcionar el motor, por lo que en las hojas de especificaciones de uso en los *Anexos*, se encontrará la información necesaria.



*Figura 96. Husillo con motor NEMA 17 – Sistema Electrónico*



*Figura 97. Driver Motor DRV8825 – Sistema Electrónico*



El motor NEMA 17 y el driver DRV8825 tienen las siguientes características:

Motor NEMA 17 con Husillo de 38 cm		Controlador DRV8825	
Ángulo de pasos	1.8 grados		
Bipolar	2 fases	Voltaje de Operación	8.2 - 45 V
Alimentación Máxima	12 V	Corriente de Salida	1.5 A por fase
Pasos	200	Voltaje Lógico Mínimo	2.5 V (Máx. 5.25 V)
Holding Torque	3.7 kg/cm	Microstepping	1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Diámetro del eje	8 mm	No tiene protección de polaridad	
Peso	415 gramos		
Resistencia	1.65 $\Omega$ por bobina		
Avance	40 $\mu$ m		
Corriente	1.68 A por bobina		
Voltaje	2.8 V		

Tabla 8. Características Técnicas Motor NEMA 17 - Driver DRV8825

Los finales de carrera estarán conectados a la protoboard con sus respectivas resistencias y en los Anexos (6. *Conexiones Circuito*) referentes al circuito se explicará el tipo de conexión que tiene. Es importante conocer la configuración de conexiónado que presentan las resistencias, ya que pueden producirse vibraciones de corriente y llevar a ello un mal uso.



Figura 98. Final de Carrera - Sistema Electrónico

La fuente de alimentación que se utiliza para alimentar el motor de pasos se trata de una fuente conmutada de laboratorio, el modelo de fuente se conoce como PROMAX FA-665B, mediante su hoja de especificaciones se conectará al circuito con el voltaje y corriente adecuado.



Figura 99. Fuente PROMAX FA-665B - Sistema Electrónico

Una vez conocidos todos los elementos que corresponden al circuito electrónico, se mostrará a continuación el circuito electrónico con su conexiónado. En cuanto a la programación del código en Arduino y, el desarrollo de la aplicación Android vía Bluetooth, se encontrarán en los Anexos (4. *Programa Arduino*, 5. *App Dispositivo Móvil*) con su explicación más detallada. (Figura 100)



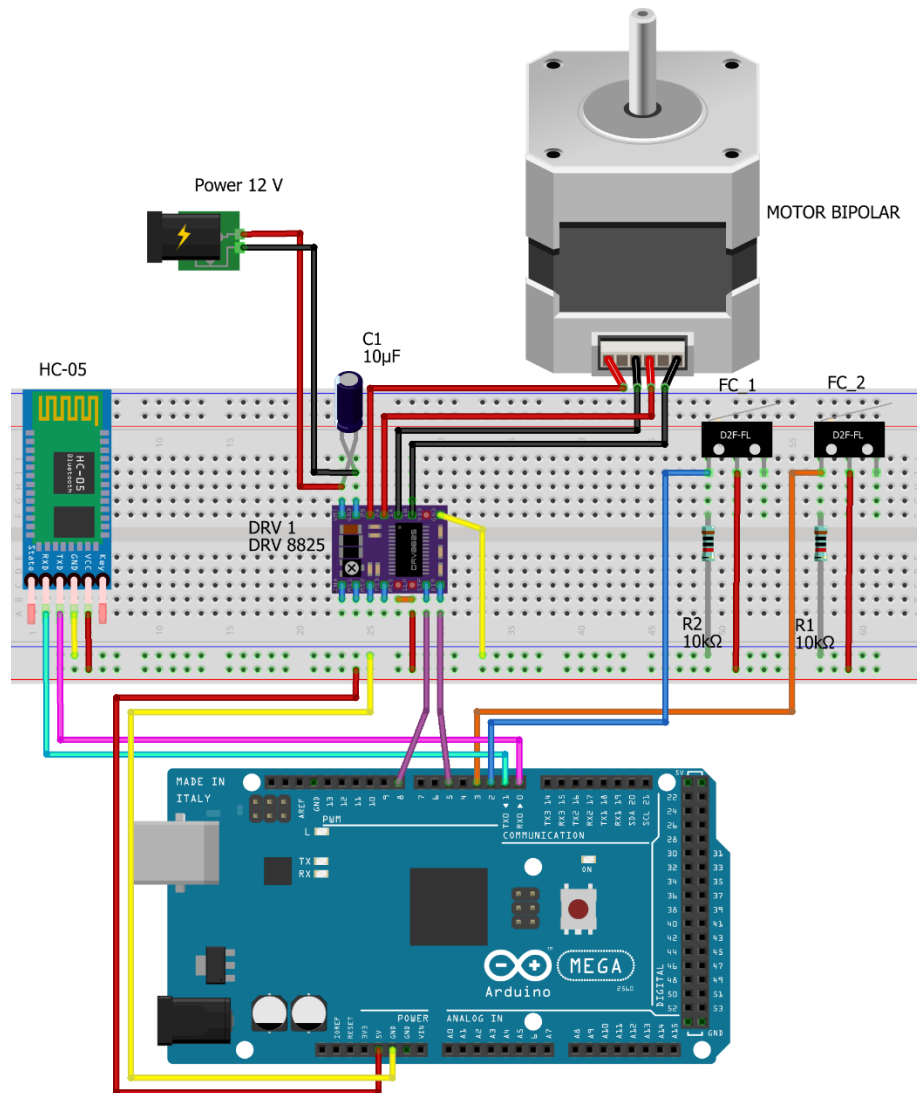


Figura 100. Conexionado de los componentes - Sistema Electrónico

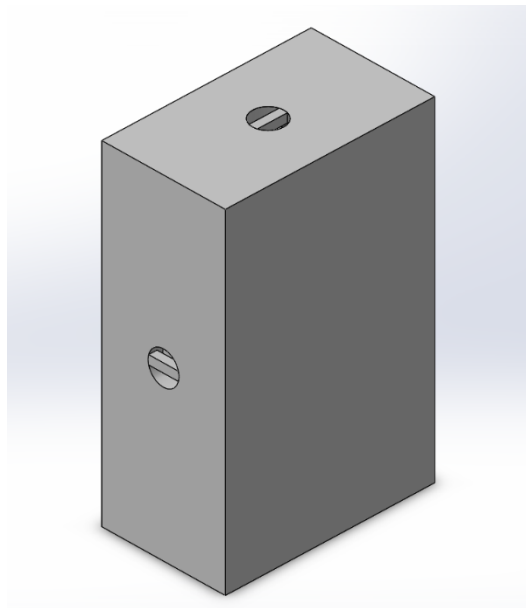
Cabe señalar que, el conexionado con los componentes (Figura 100), se ha realizado en una placa de pruebas o protoboard para comprobar el correcto funcionamiento durante el desarrollo del dispositivo, pero, para la construcción final, se ha utilizado una placa PCB con sus respectivos componentes y, se han fijado en la misma con un soldador de estaño. En el apartado 6.2 de los Anexos se muestra el resultado final. (6.2. Montaje del Circuito Electrónico)

## 4.7. OBJETOS

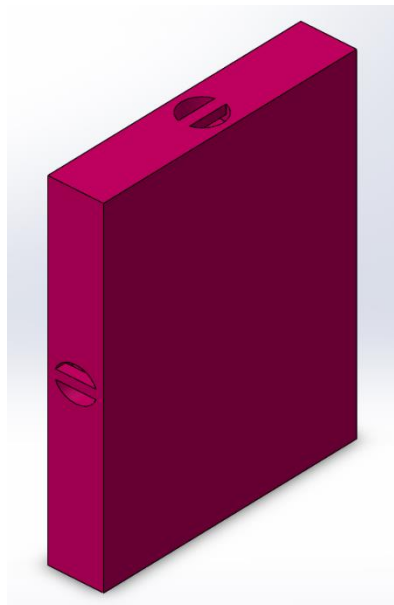
Este apartado corresponde a los objetos que se utilizarán en los ensayos, se trata de una serie de figuras con un tamaño y una forma determinada que simulan objetos de la vida cotidiana. Del mismo modo que se explica en las especificaciones, la variedad de objetos se debe a los diferentes agarres que se estudiarán con las manos artificiales.

Siguiendo las especificaciones, se observarán tres tipos de objetos que incluirán sus respectivos enganches para acoplarse al dispositivo. Estos enganches, se analizarán en los Anexos (3.2. *Estudio Estático*) para verificar que resisten las fuerzas máximas en el momento del ensayo.

### 4.7.1 PRISMAS

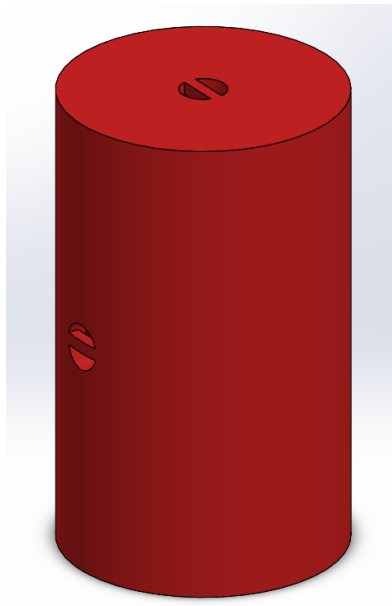


*Figura 101. Objeto - Prisma 1*  
*Dimensiones: 60x100x150 mm*

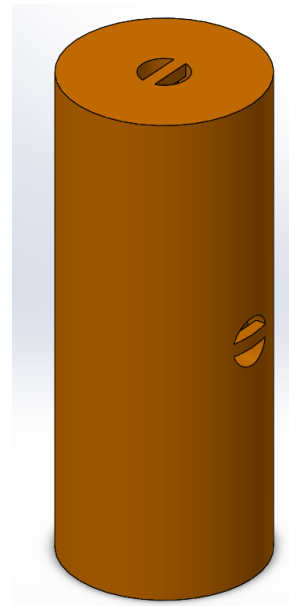


*Figura 102. Objeto - Prisma 2*  
*Dimensiones: 20x100x150 mm*

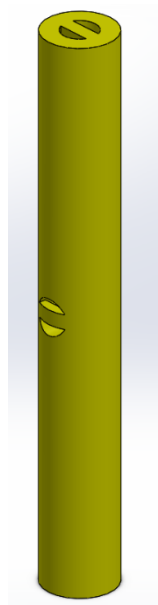
#### 4.7.2 CILINDROS



*Figura 103. Objeto - Cilindro 1*  
*D= 90 mm, H= 150 mm*

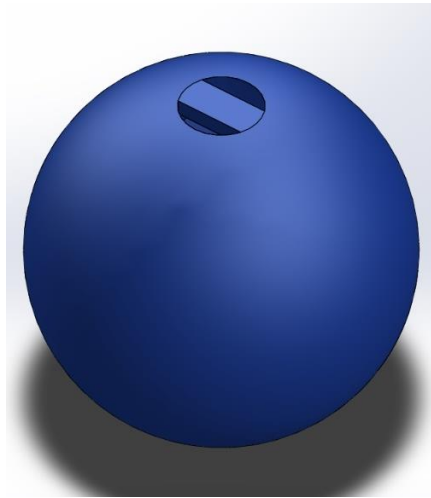


*Figura 104. Objeto - Cilindro 2*  
*D= 60 mm, H= 150 mm*

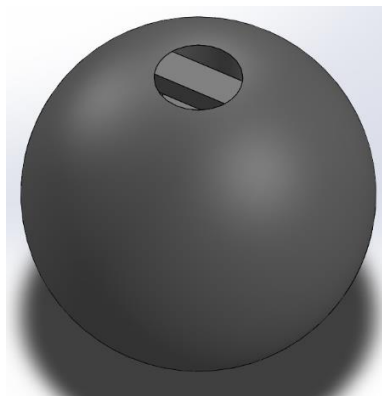


*Figura 105. Objeto - Cilindro 3*  
*D= 20 mm, H= 150 mm*

#### 4.7.3 ESFERAS



*Figura 106. Objeto - Esfera 1*  
*D= 90 mm*



*Figura 107. Objeto - Esfera 2*  
*D= 60 mm*

El material seleccionado para las impresiones 3D, será el plástico tipo PLA. Esta clase de plástico es bastante resistente para usos donde se le aplica esfuerzos más elevados.

Mediante un programa de impresión 3D se configurarán los parámetros para que las capas sean más compactas en su interior y, de este modo, podrá resistir la presión ejerza la mano artificial, en el momento del agarre y, en el ensayo de tracción, al tirar del objeto.

## 5. RESULTADO FINAL

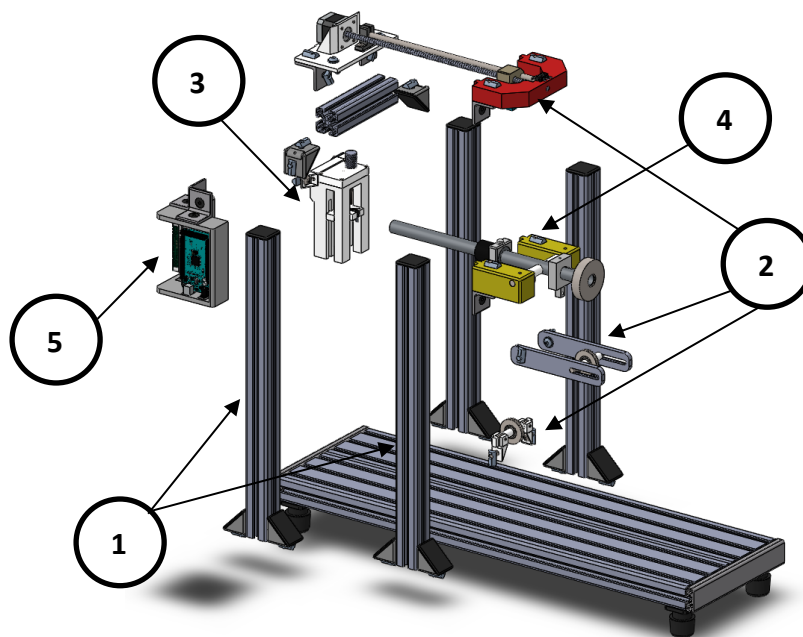
En el siguiente apartado se muestra el resultado final del dispositivo tras realizar los procesos de fabricación y ensamblaje.

Como el dispositivo está formado por una gran variedad de piezas y componentes, se ha dividido en diferentes subconjuntos funcionales para facilitar su construcción, montaje y utilización del mismo. Estos subconjuntos se introducen en el apartado anterior junto la explicación de cada una de las piezas que forman parte. ( 4. *Diseño de Detalle*)

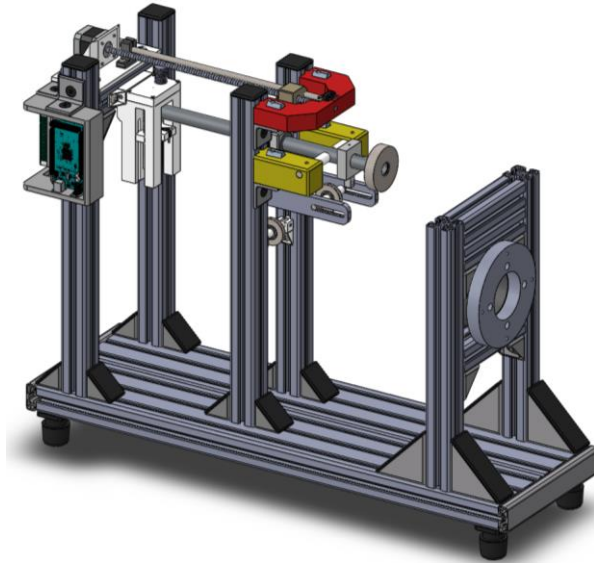
Para el proceso de ensamblaje se ha seguido un orden según la función que realiza cada subconjunto:

1. Los subconjuntos forman parte de la estructura se montan sobre la base de la PACMAR.
2. Los subconjuntos que permiten el desplazamiento se montan sobre los perfiles de la estructura: husillo con motor y los sistemas de poleas.
3. El sistema de regulación de altura se monta sobre el perfil del travesaño.
4. El sistema de palanca se monta en los perfiles de la estructura.
5. El circuito electrónico se monta sobre el perfil de la estructura junto sus conexiones.

A continuación, se muestra una vista explosionado con todos los subconjuntos y la composición con la brida de anclaje.

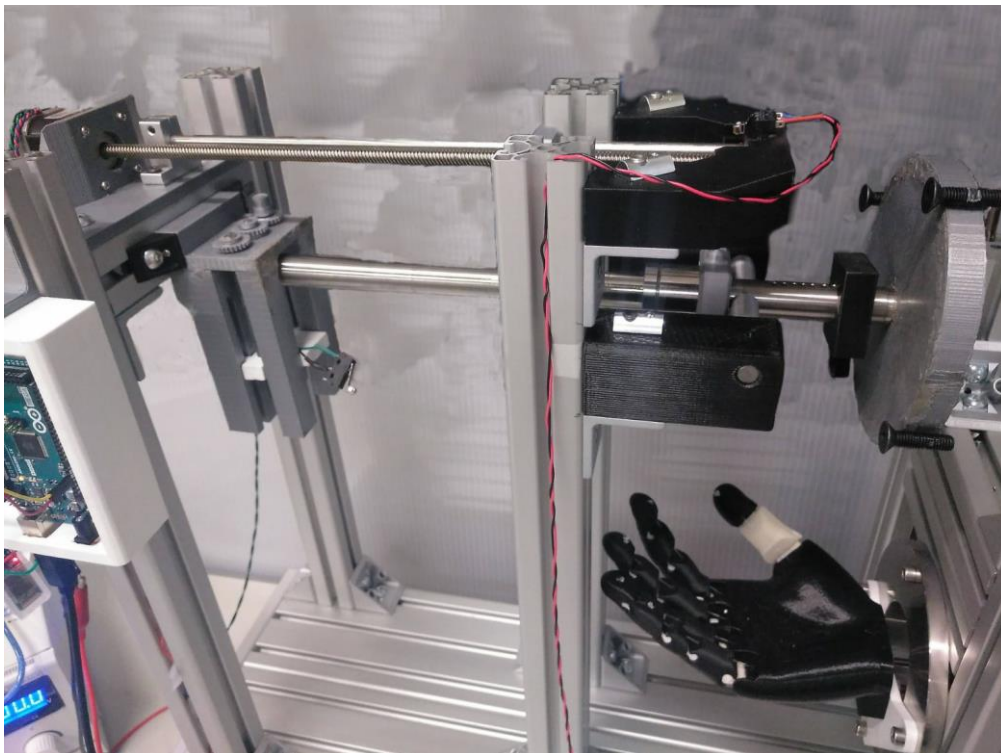


*Figura 108. Vista explosionada Dispositivo Sistema de Palanca*

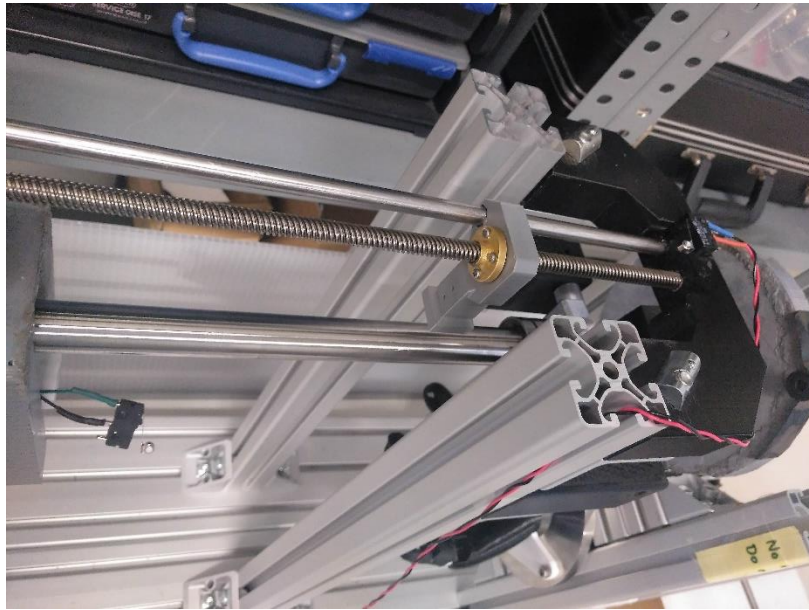


*Figura 109. Dispositivo Sistema de Palanca con brida de anclaje*

Seguidamente, se muestran las imágenes de la composición final del dispositivo. Cabe señalar que, no se ha logrado captar una imagen con la totalidad de las partes que forman el sistema, pero sí, de las piezas principales del sistema de palanca. En el apartado 7. de los *Anexos*, se encontrarán las instrucciones de uso del dispositivo.



*Figura 110. Perspectiva General del Dispositivo de Sistema de Palanca*

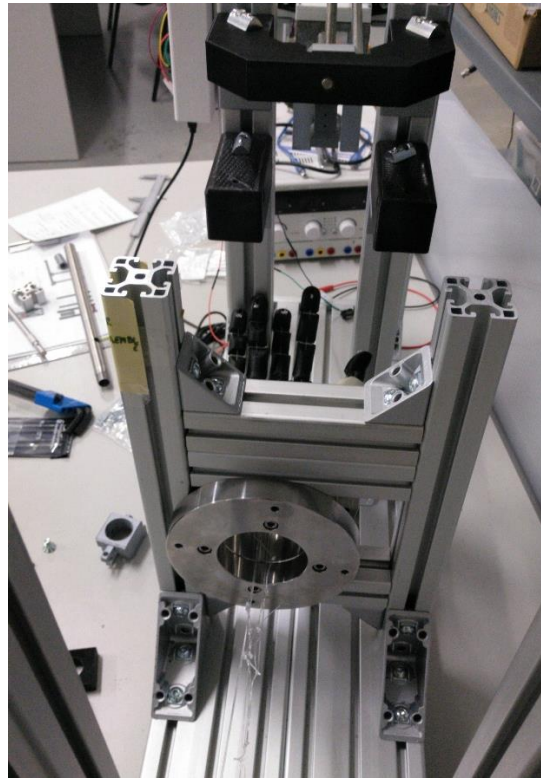


*Figura 111. Vista superior de la unión del husillo*



*Figura 112. Vista alineación de los cojinetes en la palanca*





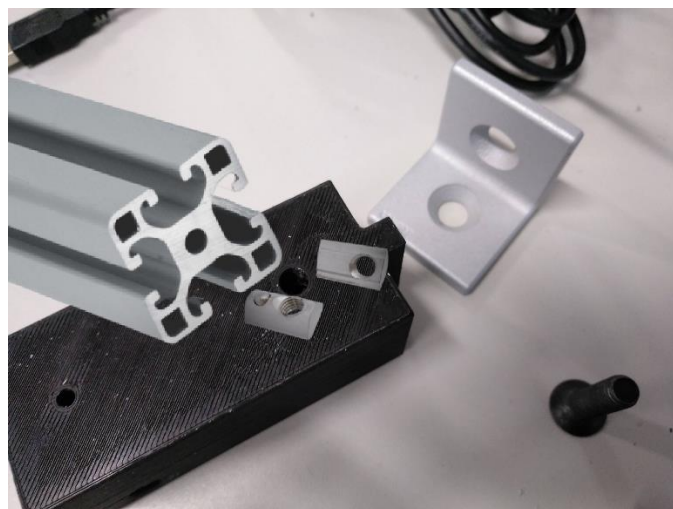
*Figura 113. Vista Alzado Posterior con Brida de anclaje*

## 6. PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación, se muestra como se ha realizado la construcción del dispositivo mediante una serie de procesos de fabricación hasta llegar a su resultado final.

En primer lugar, se parte de la plataforma *PACMAR* ya construida donde se ensamblarán los perfiles que forman parte de la estructura del dispositivo.

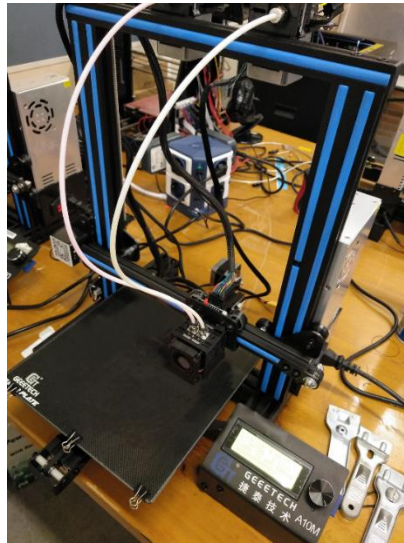
Los perfiles *ITEM* se unirán entre ellos, utilizando tuercas y escuadras, las cuales se acoplarán a las ranuras abiertas que presentan. (Figura 114)



*Figura 114. Perfil ITEM, ángulo y tuercas*



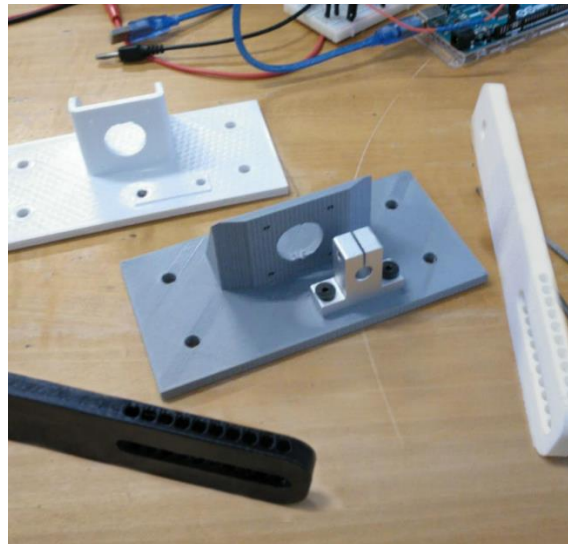
Algunas de las piezas que forman parte del soporte del dispositivo y del mecanismo, se fabricarán con una impresora 3D, además de los diferentes tipos de objetos. Estas piezas en 3D se fabricarán con el relleno de plástico adecuado para que proporcionen la rigidez y resistencia en los ensayos. (Figura 115)



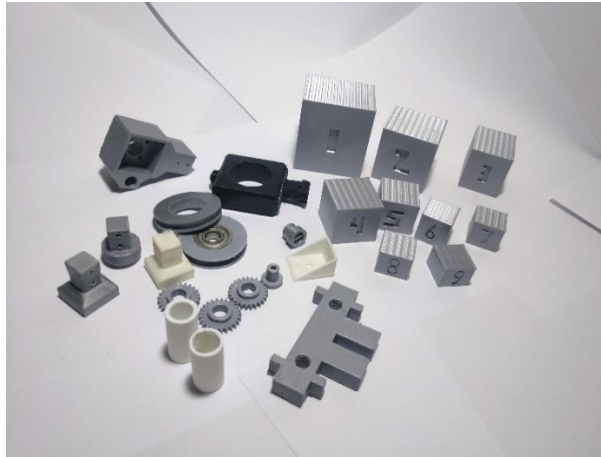
*Figura 115. Impresora 3D Geeetech A10M*

Algunos de los diseños realizados, no han salido con las dimensiones correctas al imprimirse y, se ha superado el límite de tolerancia esperado, esto se debe a las contracciones del plástico con la temperatura cuando se unen las capas.

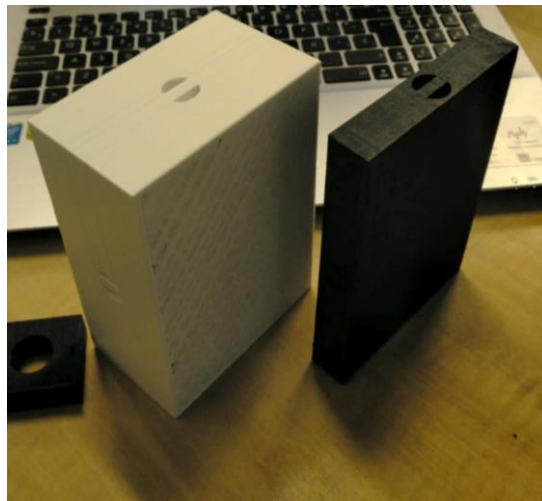
Para solucionar este inconveniente, se han ajustado las dimensiones de las piezas para compensar esta expansión que sufre el material y, en algunos casos, se ha utilizado una lima o escofina de metal para pulir la superficie y quitar el material sobrante. (Figura 116)



*Figura 116. Piezas Impresas - Soporte Motor Husillo y Pletinas poleas*



*Figura 117. Piezas Impresas - Regulación Altura, Unión Husillo y Poleas*



*Figura 118. Piezas Impresas – Objetos: Prismas*

Respecto a los ejes, guías y tubo que forman parte del sistema de transmisión, se han llevado a cabo diferentes operaciones.

En primer lugar, se ha realizado una operación de serrado en los ejes que corresponden al apoyo del sistema de palanca y sistema de poleas. (Figura 119)



*Figura 119. Operación de serrado - Eje polea*

En segundo lugar, se ha realizado una operación de taladrado en los ejes que corresponden a los sistemas de poleas y al tubo hueco del sistema de palanca. En el extremo del tubo hueco, además, se ha realizado una operación de roscado con una terraja de M20, en el cual se enrosca el contrapeso. (Figura 120 y Figura 121)

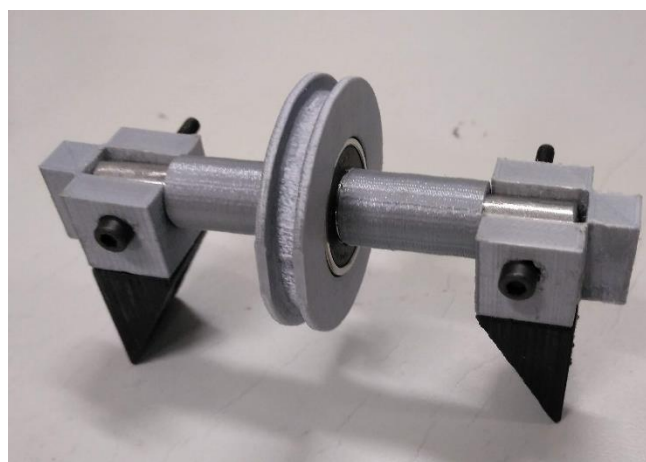


*Figura 120. Set de terrajas y machos de roscar*



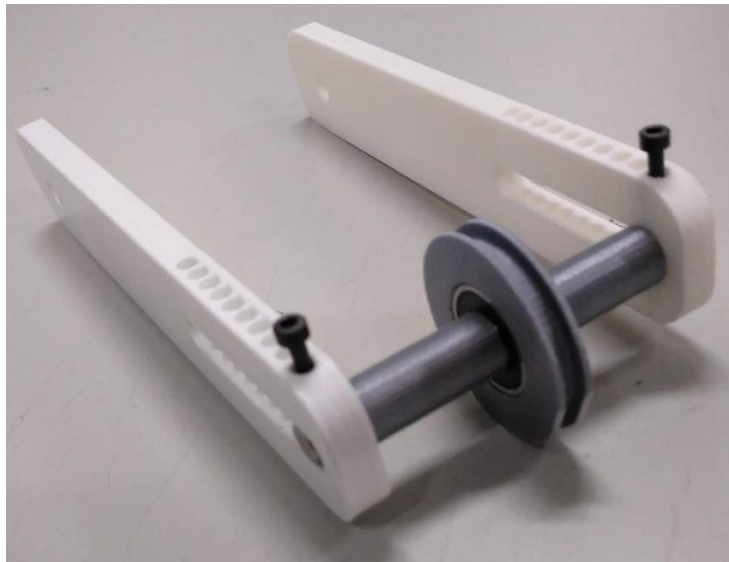
*Figura 121. Eje y tubo con taladros y rosca*

Una vez cortadas las varillas, se han unido con sus respectivas piezas para formar los sistemas de poleas y soporte del sistema de palanca. (Figura 122, Figura 123 y Figura 124)



*Figura 122. Sistema Fijo Poleas*





*Figura 123. Sistema Móvil Poleas*

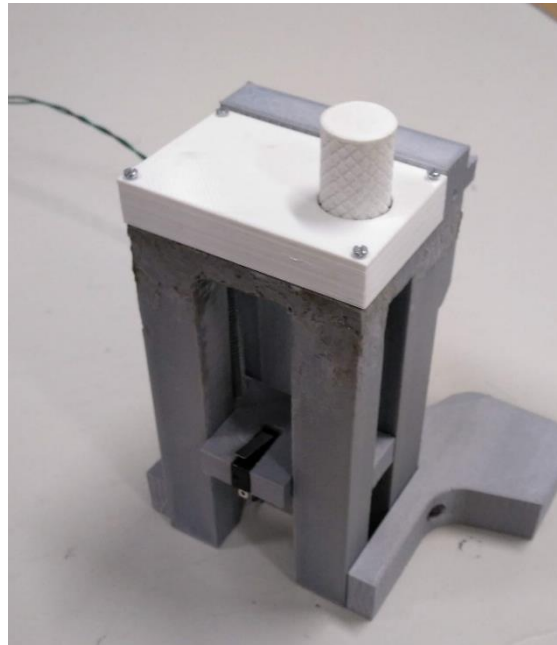


*Figura 124. Varilla y tubo junto con soportes – Sistema de Palanca*

En cuanto al sistema de regulación de altura, se han unido sus diferentes piezas hasta el siguiente resultado final:



*Figura 125. Montaje Piezas - Sistema Regulación de Altura*



*Figura 126. Plataforma con final de carrera - Sistema Regulación de Altura*

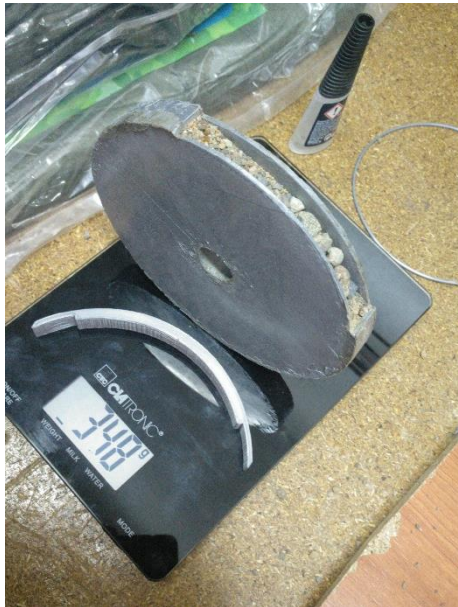
Seguidamente, se ha elaborado la fabricación del contrapeso que se enroscará en el extremo del tubo. La idea inicial de diseño, consistía en utilizar un cilindro de acero inoxidable y, realizar un proceso de torneado y un roscado interior para obtener las dimensiones calculadas, sin embargo, se ha optado por utilizar otra alternativa, para agilizar así, el tiempo de construcción.

Esta alternativa consiste en utilizar un cilindro hueco impreso en 3D donde se introducirá una cantidad de grava hasta alcanzar la proporción exacta. Conviene señalar que, tanto el ancho como el diámetro interior, es el mismo que en el del diseño inicial y, por ello, no altera los cálculos realizados. El diseño con los cálculos correspondientes se muestra en el apartado 2 del Anexo (2.3 Alternativa Contrapeso de Grava).

El cilindro se ha dividido en tres partes para facilitar su construcción: la pieza base con los contornos y hueco con el tamaño de la rosca, la tapa del cilindro y, la tapa lateral. Las partes se unen con pegamento y se asegura que no haya pérdidas del relleno de grava. (Figura 127)

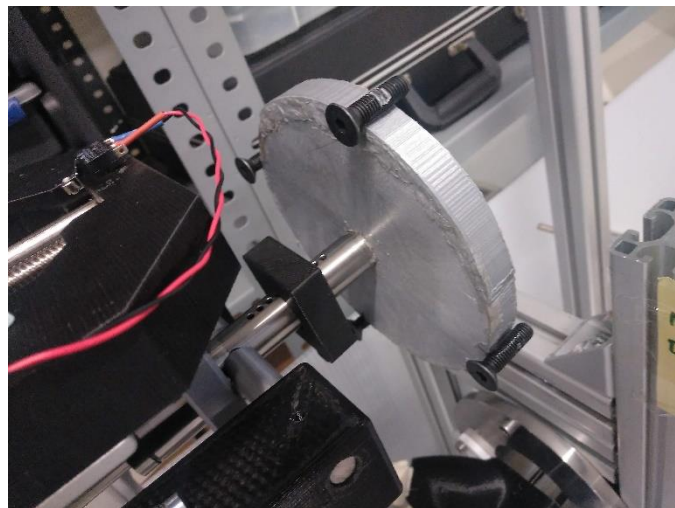


*Figura 127. Contrapeso de grava en proceso de relleno*



*Figura 128. Contrapeso de grava con tapa lateral*

Una vez unidas todas las partes, el resultado final del contrapeso se muestra a continuación:



*Figura 129. Contrapeso de grava - Resultado Final*

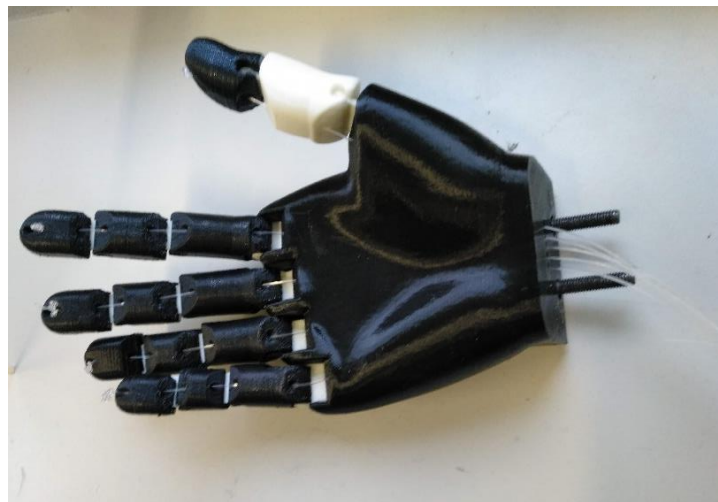
Para terminar con el proceso de fabricación, se han elaborado unos pesos para los dedos de la mano artificial. Para ello, se han juntado varios sacos de arena con diferentes pesos, los cuales se colgarán con unos hilos de pescar a las articulaciones de los dedos. (Figura 130)

En el apartado 5 (Figura 113) se pueden observar los hilos de las articulaciones respecto a la brida de anclaje de la plataforma.





*Figura 130. Pesos de 3 kg, 2 kg y 1 kg de arena*



*Figura 131. Mano artificial para ensayos*

## 7. RESULTADOS ENSAYOS

El siguiente apartado corresponde a los resultados experimentales de los ensayos, pero desafortunadamente, no se han podido llegar a concluir debido a circunstancias ajenas a la realización del proyecto.

Las tablas a continuación, corresponderían a los ensayos con diferentes tipos de agarres en las tres direcciones del espacio con los objetos propuestos. Para la correcta interpretación de las direcciones, hay que recordar la terminología utilizada que se encuentra en el apartado 2.2 de la Memoria. (Figura 19. Direcciones de la mano)

Para la valoración de los resultados se realizará una media de las fuerzas y su desviación típica.

	Nº ENSAYOS	1			2			3		
		RAD-CUB	PAL-DOR	DIST-PROX	RAD-CUB	PAL-DOR	DIST-PROX	RAD-CUB	PAL-DOR	DIST-PROX
<b>PULP PINCH</b>	ESFERA 2									
<b>KEY PINCH</b>	CILINDRO 4									
<b>CYLINDRICAL GRIP</b>	CILINDRO 1									
	CILINDRO 2									
	CILINDRO 3									
<b>SPHERICAL GRIP</b>	ESFERA 1									
	ESFERA 2									
<b>HOOK</b>	CILINDRO 3									

Tabla 9. Medidas realizadas en los ensayos [kg]

	DIRECCIONES OBJETOS	MEDIA			DESVIACIÓN		
		RAD-CUB	PAL-DOR	DIST-PROX	RAD-CUB	PAL-DOR	DIST-PROX
<b>PULP PINCH</b>	ESFERA 2						
<b>KEY PINCH</b>	CILINDRO 4						
<b>CYLINDRICAL GRIP</b>	CILINDRO 1						
	CILINDRO 2						
	CILINDRO 3						
<b>SPHERICAL GRIP</b>	ESFERA 1						
	ESFERA 2						
<b>HOOK</b>	CILINDRO 3						

Tabla 10. Valores Medios [kg] y Desviaciones Típicas



## 8. REFERENCIAS

- [1] «<http://be.uji.es/>».
- [2] I. Llop-Harillo y A. Pérez-González, «System for the experimental evaluation of anthropomorphic hands. Application to a new 3D-printed prosthetic hand prototype», *Int. Biomech.*, vol. 4, n.º 2, pp. 50-59, 2017.
- [3] F. J. Andrés, A. Pérez-González, C. Rubert, J. Fuentes, y B. Sospedra, «Comparison of Grasping Performance of Tendon and Linkage Transmission Systems in an Electric-Powered Low-Cost Hand Prosthesis », *J. Mech. Robot.*, vol. 11, n.º 1, dic. 2018.
- [4] «<https://www.nist.gov/>».
- [5] J. Falco y E. Messina, «DRAFT NIST Special Publication 1227 Performance Metrics and Test Methods for Robotic Hands DRAFT NIST Special Publication 1227 Performance Metrics and Test Methods for Robotic Hands», pp. 1-77, 2018.
- [6] A. I. Kapandji, *Fisiología articular*, 6th ed. 2006.
- [7] J. Fischer, N. W. Thompson, y J. W. K. Harrison, «The prehensile movements of the human hand», *Class. Pap. Orthop.*, pp. 343-345, 2014.
- [8] I. Llop-harillo, A. Pérez-gonzález, J. Starke, y T. Asfour, «The Anthropomorphic Hand Assessment Protocol ( AHAP )», *Rob. Auton. Syst.*, vol. 121, p. 103259, 2019.
- [9] C. R. A. Rtitle y M. Vergara, «An introductory study of common grasps used by adults during performance of activities of daily living», *J. Hand Ther.*, vol. 27, n.º 3, pp. 225-234, 2014.
- [10] «[https://en.wikipedia.org/wiki/Anatomical\\_terms\\_of\\_location](https://en.wikipedia.org/wiki/Anatomical_terms_of_location)».
- [11] «<https://es.wikipedia.org/wiki/Mano>».
- [12] «[https://es.wikiversity.org/wiki/Terminolog%C3%ADa\\_anat%C3%B3mica](https://es.wikiversity.org/wiki/Terminolog%C3%ADa_anat%C3%B3mica)».
- [13] MacKenzie, *The grasping hand*. Noth-Holland, 1994.
- [14] R. P. Mullerpatan, G. Karnik, y R. John, «Grip and pinch strength: Normative data for healthy Indian adults», *Hand Ther.*, vol. 18, n.º 1, pp. 11-16, 2013.
- [15] M. Á. Lorenzo-Agudo, P. Santos-García, y D. Sánchez-Belizón, «Determinación de los valores normales de fuerza muscular de puño y pinza en una población laboral», *Rehabilitacion*, vol. 41, n.º 5, pp. 220-227, 2007.
- [16] P. Escalona D'A., J. Naranjo O., V. Lagos S., y F. Solís F., «Parámetros de normalidad en fuerzas de prensión de mano en sujetos de ambos sexos de 7 a 17 años de edad», *Rev. Chil. Pediatr.*, vol. 80, n.º 5, pp. 435-443, 2009.
- [17] L. M. Jashimoto, E. De La Vega Bustillos, F. O. Lopez Millan, B. A. Ortiz Navar, y K. L. Duarte, «Fuerza Máxima de Agarre con Mano Dominante y No Dominante», *Congr. Int. Ergon. SEMAC*, p. 16, 2009.
- [18] J. T. Belter, J. L. Segil, A. M. Dollar, y R. F. Weir, «Mechanical design and performance specifications of anthropomorphic prosthetic hands: A review», *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 50, n.º 5, pp. 599-618, 2013.
- [19] «<https://www.asoc-aluminio.es/el-aluminio/ventajas-del-aluminio-en-la-construccion>».
- [20] «<https://www.keyence.com.mx/index.jsp>».
- [21] «Apuntes EX1023-Sistemas Automáticos-Tema 1. Introducción al control automático».
- [22] «Apuntes EX1031-Proyectos de Ingeniería».

# ANEXOS

## ÍNDICE ANEXOS

<b>1.</b>	<b>CÁLCULO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS .....</b>	<b>88</b>
1.1.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN ESTRUCTURAL.....	88
1.2.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE ACCIONAMIENTO .....	88
1.3.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN .....	89
1.4.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE MEDIDA.....	89
1.5.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE DETECCIÓN .....	90
1.6.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE CONTROL.....	90
1.7.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE REGISTRO .....	91
1.8.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA .....	91
1.9.	PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN INTERFAZ.....	92
1.10.	CÁLCULO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	92
<b>2.</b>	<b>DESARROLLO DE CÁLCULOS.....</b>	<b>94</b>
2.1.	CONTRAPESO .....	94
2.2.	RECORRIDO CONTRAPESO .....	100
2.3.	ALTERNATIVA CONTRAPESO DE GRAVA .....	101
2.4.	REGULACIÓN DE ALTURA.....	103
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO ESTÁTICO .....</b>	<b>106</b>
3.1.	BARRA UNIÓN SISTEMA PALANCA .....	106
3.2.	ENGANCHES OBJETOS .....	109
<b>4.</b>	<b>PROGRAMA ARDUINO .....</b>	<b>113</b>
<b>5.</b>	<b>APP DISPOSITIVO MÓVIL.....</b>	<b>115</b>
5.1.	INTERFAZ APP .....	115
5.2.	FUNCIONAMIENTO APP.....	116
5.3.	INSTALACIÓN APP .....	118
5.4.	ENTORNO APP INVENTOR .....	119
<b>6.</b>	<b>CONEXIONES CIRCUITO .....</b>	<b>124</b>
6.1.	CONEXIÓN RESISTENCIAS PULL UP Y PULL DOWN .....	124
6.2.	MONTAJE DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.....	125
<b>7.</b>	<b>INSTRUCCIONES DEL USO DEL DISPOSITIVO.....</b>	<b>128</b>
<b>8.</b>	<b>HOJAS DE ESPECIFICACIONES .....</b>	<b>130</b>

## 1. CÁLCULO DE LAS PROPUESTAS SELECCIONADAS

### 1.1. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN ESTRUCTURAL

Tabla de intensidades:

	RESISTENCIA MECÁNICA	BAJO COSTE	PESO	VIDA ÚTIL	MANUFACTURA
RESISTENCIA MECÁNICA	1	2	2	3	4
BAJO COSTE	1/2	1	2	3	4
PESO	1/2	1/2	1	3	4
VIDA ÚTIL	1/3	1/3	1/3	1	3
MANUFACTURA	1/4	1/4	1/4	1/3	1

Matriz Normalizada:

	RESISTENCIA MECÁNICA (35,84%)	BAJO COSTE (27,16%)	PESO (20,58%)	VIDA ÚTIL (10,65%)	MANUFACTURA (5,77%)
MADERA	0,25	1	1	0,25	1
ALUMINIO	0,75	0,75	0,75	1	1
ACERO AL CARBONO	1	0,25	0,25	0,75	0,5
ACERO INOXIDABLE	1	0,75	0,25	1	0,5
ABS	0,5	1	1	0,5	1
PLA	0,25	1	1	0,5	1

Media Geométrica:

$w_1$	2,169
$w_2$	1,644
$w_3$	1,246
$w_4$	0,644
$w_5$	0,349
$\Sigma w$	6,052

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,358
$\bar{w}_2$	0,272
$\bar{w}_3$	0,206
$\bar{w}_4$	0,106
$\bar{w}_5$	0,058
$\Sigma \bar{w}$	1

Media Ponderada:

MADERA	0,651
ALUMINIO	0,791
ACERO AL CARBONO	0,586
ACERO INOXIDABLE	0,749
ABS	0,768
PLA	0,678

Tabla 11. Cálculos Propuesta Función Estructural

### 1.2. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE ACCIONAMIENTO

Tabla de intensidades:

	FLEXIBILIDAD	RESISTENCIA TRACCIÓN	BAJO COSTE	PESO	VIDA ÚTIL
FLEXIBILIDAD	1	2	3	4	5
RESISTENCIA TRACCIÓN	1/2	1	3	4	5
BAJO COSTE	1/3	1/3	1	3	5
PESO	1/4	1/4	1/3	1	3
VIDA ÚTIL	1/5	1/5	1/5	1/3	1

Matriz Normalizada:

	FLEXIBILIDAD (39,70%)	RESISTENCIA TRACCIÓN (30,10%)	BAJO COSTE (16,90%)	PESO (8,70%)	VIDA ÚTIL (4,70%)
HILO PESCA	1	0,75	1	1	0,5
CABLE DE ACERO	0,75	1	0,75	0,5	1
CUERDA POLIPROPILENO	1	1	0,25	1	0,75
CADENA DE ACERO	0,5	1	0	0,5	0,75

Media Geométrica:

$w_1$	2,605
$w_2$	1,974
$w_3$	1,108
$w_4$	0,574
$w_5$	0,306
$\Sigma w$	6,567

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,397
$\bar{w}_2$	0,301
$\bar{w}_3$	0,169
$\bar{w}_4$	0,087
$\bar{w}_5$	0,047
$\Sigma \bar{w}$	1

Media Ponderada:

HILO PESCA	0,902
CABLE DE ACERO	0,815
CUERDA POLIPROPILENO	0,862
CADENA DE ACERO	0,578

Tabla 12. Cálculos Propuesta Función de Accionamiento

### 1.3. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE TRANSMISIÓN

Tabla de intensidades:

	PRECISIÓN	TAMAÑO	BAJO COSTE	FACILIDAD DE USO	PESO
PRECISIÓN	1	2	4	5	6
TAMAÑO	1/2	1	2	3	4
BAJO COSTE	1/4	1/2	1	3	5
FACILIDAD DE USO	1/5	1/3	1/3	1	3
PESO	1/6	1/4	1/5	1/3	1

Matriz Normalizada:

	PRECISIÓN (44,90%)	TAMAÑO (24,70%)	BAJO COSTE (17,00%)	FACILIDAD DE USO (8,70%)	PESO (4,60%)
MOTOR DE PASOS	1	1	0,5	0,5	1
RECIPIENTE FLUIDO	0,25	0,25	1	1	0,25
PESO FIJO	0,75	1	0,5	0,5	1
FUERZA MANUAL	0	1	1	1	1

Media Geométrica:

w <sub>1</sub>	2,993
w <sub>2</sub>	1,644
w <sub>3</sub>	1,134
w <sub>4</sub>	0,582
w <sub>5</sub>	0,308
Σ w	6,660

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,449
$\bar{w}_2$	0,247
$\bar{w}_3$	0,170
$\bar{w}_4$	0,087
$\bar{w}_5$	0,046
Σ $\bar{w}$	1

Media Ponderada:

MOTOR DE PASOS	0,871
RECIPIENTE FLUIDO	0,443
PESO FIJO	0,759
FUERZA MANUAL	0,551

Tabla 13. Cálculos Propuesta Función de Transmisión

### 1.4. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE MEDIDA

Tabla de intensidades:

	PRECISIÓN	FACILIDAD DE USO	BAJO COSTE	CONFIABILIDAD	PESO
PRECISIÓN	1	2	4	5	6
TAMAÑO	1/2	1	2	3	4
BAJO COSTE	1/4	1/2	1	3	5
CONFIABILIDAD	1/5	1/3	1/3	1	3
PESO	1/6	1/4	1/5	1/3	1

Matriz Normalizada:

	PRECISIÓN (44,90%)	FACILIDAD DE USO (24,70%)	BAJO COSTE (17,00%)	CONFIABILIDAD (8,70%)	PESO (4,60%)
DINAMÓMETRO	1	1	0,75	1	0,75
CÉLULA DE CARGA	1	0,5	0,25	1	0,5

Media Geométrica:

w <sub>1</sub>	2,993
w <sub>2</sub>	1,644
w <sub>3</sub>	1,134
w <sub>4</sub>	0,582
w <sub>5</sub>	0,308
Σ w	6,660

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,449
$\bar{w}_2$	0,247
$\bar{w}_3$	0,170
$\bar{w}_4$	0,087
$\bar{w}_5$	0,046
Σ $\bar{w}$	1

Media Ponderada:

DINAMÓMETRO	0,946
CÉLULA DE CARGA	0,726

Tabla 14. Cálculos Propuesta Función de Medida

La mejor opción para la función de medida es el dinamómetro, ya que es un equipo de medición ya específico y determinado para dar valores de forma rápida. La célula de carga en cambio, se necesitaría un sistema de filtrado y amplificador para poder obtener una señal más clara.

### 1.5. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE DETECCIÓN

Tabla de intensidades:

	ADAPTABLE AL DISPOSITIVO	BAJO COSTE	VARIEDAD DE OBJETOS	FACILIDAD DE USO
ADAPTABLE AL DISPOSITIVO	1	2	2	3
BAJO COSTE	1/2	1	2	3
VARIEDAD DE OBJETOS	1/2	1/2	1	3
FACILIDAD DE USO	1/3	1/3	1/3	1

Media Geométrica:

$w_1$	1,861
$w_2$	1,316
$w_3$	0,931
$w_4$	0,439
$\sum w$	4,547

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,409
$\bar{w}_2$	0,289
$\bar{w}_3$	0,205
$\bar{w}_4$	0,096
$\sum \bar{w}$	1

Matriz Normalizada:

	ADAPT. AL DISPOSITIVO ( 40,90% )	BAJO COSTE ( 28,90% )	VARIEDAD OBJETOS ( 20,50% )	FACILIDAD DE USO ( 9,60% )
FINAL DE CARRERA	0,75	1	0,75	0,75
FOTOCÉLULA	1	0,25	1	1
DETECTOR INDUCTIVO	0,75	0,5	0,25	0,75
DETECTOR CAPACITIVO	0,75	0,5	0,75	0,75

Media Ponderada:

FINAL DE CARRERA	0,822
FOTOCÉLULA	0,783
DETECTOR INDUCTIVO	0,575
DETECTOR CAPACITIVO	0,678

Tabla 15. Cálculos Propuesta Función de Detección

### 1.6. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE CONTROL

Tabla de intensidades:

	PINES / FACILIDAD DE CONTROL	BAJO COSTE	PROCESADOR	MEMORIA
PINES / FACILIDAD DE CONTROL	1	3	5	7
BAJO COSTE	1/3	1	2	3
PROCESADOR	1/5	1/2	1	3
MEMORIA	1/7	1/3	1/3	1

Media Geométrica:

$w_1$	3,201
$w_2$	1,189
$w_3$	0,740
$w_4$	0,355
$\sum w$	5,485

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,584
$\bar{w}_2$	0,217
$\bar{w}_3$	0,135
$\bar{w}_4$	0,065
$\sum \bar{w}$	1

Matriz Normalizada:

	PINES / FACILIDAD DE CONTROL ( 58,40% )	BAJO COSTE ( 21,70% )	PROCESADOR ( 13,50% )	MEMORIA ( 6,50% )
ARDUINO UNO	0,5	1	0,5	0,75
ARDUINO MEGA	1	0,5	1	1
CRONÓMETRO	0,5	0,5	0	0,5

Media Ponderada:

ARDUINO UNO	0,625
ARDUINO MEGA	0,892
CRONOMETRO	0,433

Tabla 16. Cálculos Propuesta Función de Control

La mejor opción para la función de control es la placa Arduino Mega 2560, ya que configurando sus características no sería necesario precisar de un cronómetro. Desde el mismo Arduino se podría utilizar un programa donde se controlarían los tiempos de montaje y ajustes entre diferentes ensayos.

### 1.7. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE REGISTRO

Tabla de intensidades:

	FACILIDAD DE USO	ADAPTABLE A SISTEMA MEDIDA	BAJO COSTE	CAPACIDAD
FACILIDAD DE USO	1	2	2	3
ADAPTABLE A SISTEMA MEDIDA	1/2	1	3	4
BAJO COSTE	1/2	1/3	1	3
CAPACIDAD	1/3	1/4	1/3	1

Media Geométrica:

$w_1$	1,861
$w_2$	1,565
$w_3$	0,841
$w_4$	0,408
$\sum w$	4,675

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,398
$\bar{w}_2$	0,335
$\bar{w}_3$	0,180
$\bar{w}_4$	0,087
$\sum \bar{w}$	1

Matriz Normalizada:

	FACILIDAD DE USO (39,80%)	ADAPTABLE A SISTEMA MEDIDA (33,50%)	BAJO COSTE (18,00%)	CAPACIDAD (8,70%)
TARJETA SD	0,5	0,75	1	0,75
SOFTWARE DINAMÓMETRO	0,75	0,5	0,75	0,5
BLUETOOTH	0,5	1	1	1

Media Ponderada:

TARJETA SD	0,695
SOFTWARE DINAMÓMETRO	0,644
BLUETOOTH	0,801

Tabla 17. Cálculos Propuesta Función de Registro

### 1.8. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Tabla de intensidades:

	ADAPTABLE A MÁS DISPOSITIVOS	BAJO COSTE	POTENCIA	FACILIDAD DE USO	TAMAÑO
ADAPTABLE A MÁS DISPOSITIVOS	1	2	2	3	4
BAJO COSTE	1/2	1	2	4	5
POTENCIA	1/2	1/2	1	3	5
FACILIDAD DE USO	1/3	1/4	1/3	1	3
TAMAÑO	1/4	1/5	1/5	1/3	1

Media Geométrica:

$w_1$	2,169
$w_2$	1,821
$w_3$	1,303
$w_4$	0,608
$w_5$	0,320
$\sum w$	6,220

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,349
$\bar{w}_2$	0,293
$\bar{w}_3$	0,209
$\bar{w}_4$	0,098
$\bar{w}_5$	0,051
$\sum \bar{w}$	1

Matriz Normalizada:

	ADAPT. A MÁS DISPOSITIVOS (34,90%)	BAJO COSTE (29,30%)	POTENCIA (20,90%)	FACILIDAD DE USO (9,80%)	TAMAÑO (5,10%)
CABLE CONEXIÓN CON LA RED	0,75	1	0,25	1	1
F. ALIMENT. CONMUTADA	0,75	0,75	0,5	0,75	0,75
F. ALIMENT. CONMUTADA LABORATORIO	1	0,25	1	0,75	0,25
BATERÍAS	0,25	1	0,25	0,5	1

Media Ponderada:

CABLE CONEXIÓN CON LA RED	0,756
F. ALIMENT. CONMUTADA	0,698
F. ALIMENT. CONMUTADA LABORATORIO	0,717
BATERÍAS	0,533

Tabla 18. Cálculos Propuesta Función de Suministro de Energía

La mejor opción para la función de suministro de energía es el cable de conexión con la red eléctrica. No obstante, se considerarán las fuentes de alimentación en caso de que el sistema necesitara más potencia u otras fuentes externas en el dispositivo.

### 1.9. PROPUESTA SELECCIONADA FUNCIÓN INTERFAZ

Tabla de intensidades:

	CONFIGURACIÓN	ADAPT. A MÁS DISPOSITIVOS	BAJO COSTE	SENCILLEZ
CONFIGURACIÓN	1	2	2	4
ADAPT. A MÁS DISPOSITIVOS	1/2	1	2	3
BAJO COSTE	1/2	1/2	1	3
SENCILLEZ	1/4	1/3	1/3	1

Media Geométrica:

$w_1$	2,000
$w_2$	1,316
$w_3$	0,931
$w_4$	0,408
$\sum w$	4,655

Media Normalizada:

$\bar{w}_1$	0,430
$\bar{w}_2$	0,283
$\bar{w}_3$	0,200
$\bar{w}_4$	0,088
$\sum \bar{w}$	1

Matriz Normalizada:

	CONFIGURACIÓN (43,00%)	ADAPT. A MÁS DISPOSITIVOS (28,27%)	BAJO COSTE (20,00%)	SENCILLEZ (8,73%)
PANTALLA DINAMÓMETRO	1	0,25	0,5	0,75
PANTALLA LCD CONTROLADOR	0,25	1	0,75	0,75
PANTALLA LCD TFT	0,5	0,75	0,75	1
DISPOSITIVO MÓVIL BLUETOOTH	0,5	1	1	1

Media Ponderada:

PANTALLA DINAMÓMETRO	0,666
PANTALLA LCD CONTROLADOR	0,606
PANTALLA LCD TFT	0,665
DISPOSITIVO MÓVIL BLUETOOTH	0,785

Tabla 19. Cálculos Propuesta Función Interfaz

La mejor opción para la función interfaz es la de utilizar un dispositivo móvil con Bluetooth, ya que es la más sencilla en cuanto a utilización y, mediante la plataforma *App Inventor*, se puede lograr hacer una app simple mediante información y tutoriales que ofrece la misma. La otra opción más adecuada sería utilizar la pantalla del dinamómetro, si hubiera un sistema de control y de registro basado en el dinamómetro.

### 1.10. CÁLCULO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Se establece la tabla con las intensidades de importancia entre los parámetros: (Tabla 20)

	VALIDEZ	SENCILLEZ	PRECIO	MONTAJE
VALIDEZ	1	2	5	6
SENCILLEZ	1/2	1	3	5
PRECIO	1/5	1/3	1	3
MONTAJE	1/6	1/5	1/3	1

Tabla 20. Matriz de Intensidades de los Parámetros.

Se calculan los pesos de cada parámetro mediante una media geométrica y, a continuación, se normalizan de forma que la suma total de los valores sea 1:



$$\begin{aligned}
 w_1(\text{Validez}) &= (1 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 6)^{\frac{1}{4}} = 2,78 \\
 w_2(\text{Sencillez}) &= \left(\frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5\right)^{\frac{1}{4}} = 1,65 \\
 w_3(\text{Precio}) &= \left(\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1 \cdot 3\right)^{\frac{1}{4}} = 0,67 \\
 w_4(\text{Montaje}) &= \left(\frac{1}{6} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{3} \cdot 1\right)^{\frac{1}{4}} = 0,32
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{aligned}} \right\} \Sigma w = 5,43$$

Se transforma para poder trabajar sobre 1 y, se observan los porcentajes de importancia que suponen cada parámetro:

$$\begin{aligned}
 \bar{W}_1(\text{Validez}) &= \frac{2,78}{5,43} = 0,51 \quad (51,24 \%) \\
 \bar{W}_2(\text{Sencillez}) &= \frac{1,65}{5,43} = 0,30 \quad (30,47 \%) \\
 \bar{W}_3(\text{Precio}) &= \frac{0,67}{5,43} = 0,12 \quad (12,31 \%) \\
 \bar{W}_4(\text{Montaje}) &= \frac{0,32}{5,43} = 0,06 \quad (5,98 \%)
 \end{aligned}$$

Se establece una matriz normalizada de decisión entre valores de 0 a 1 según los parámetros que se aplican a cada una de las alternativas.

	VALIDEZ 51,24%	SENCILLEZ 30,47%	PRECIO 12,31%	MONTAJE 5,98%
ALT 1	0,33	1	0,33	1
ALT 2	1	0,33	0,67	0,67

Tabla 21. Matriz Normalizada respecto las alternativas

Por último, se calcula la media ponderada y se obtienen los valores de la importancia de cada alternativa.

$$\text{Alternativa 1} = 0,5124 \cdot 0,33 + 0,3047 \cdot 1 + 0,1231 \cdot 0,33 + 0,0598 \cdot 1 = 0,57$$

$$\text{Alternativa 2} = 0,5124 \cdot 1 + 0,3047 \cdot 0,33 + 0,1231 \cdot 0,67 + 0,0598 \cdot 0,67 = 0,74$$

Por lo tanto, la Alternativa 2 es la mejor opción para cumplir con las especificaciones.

## 2. DESARROLLO DE CÁLCULOS

En este apartado, se desarrollarán los cálculos pertinentes al contrapeso del sistema de palanca, su recorrido y la regulación de la altura, donde se establecerán una serie de términos y explicaciones para llevar a cabo el resultado final.

### 2.1. CONTRAPESO

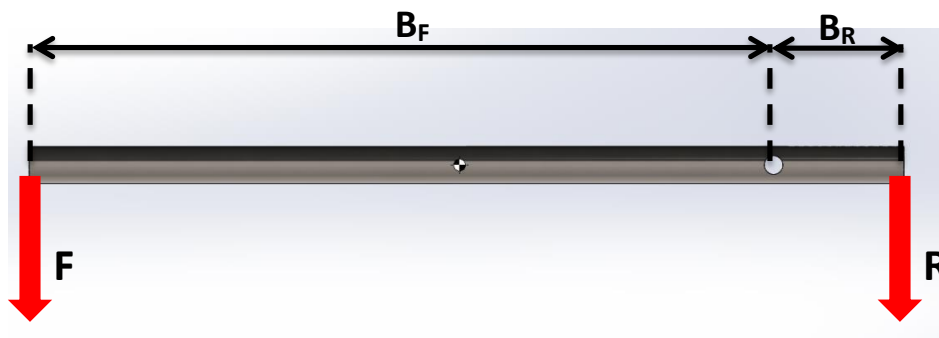
Para el desarrollo de los cálculos, será necesario entender las fuerzas que intervienen en el dispositivo y, para ello, se explicará el funcionamiento de la palanca y el alcance de las fuerzas que implica en el sistema.

#### *Palanca*

La palanca es un dispositivo mecánico, cuya función es transmitir fuerza y desplazamiento, y se compone a partir de una barra rígida, la cual gira alrededor de un punto de apoyo. Se basa en la segunda condición de equilibrio de la estática para un cuerpo rígido, el cual se encuentra en equilibrio cuando la suma de todos los momentos de torsión es cero.

Los parámetros por los que se compone son los siguientes:

- Potencia Brazo (F)
- Distancia de F al punto de aplicación ( $B_F$ )
- Fuerza Resistente (R)
- Distancia de R al punto de aplicación ( $B_R$ )



*Figura 132. DSL Sistema de Palanca*

A continuación, se observa la expresión matemática. (Ecuación 3)

$$F \cdot B_F = R \cdot B_R$$

*Ecuación 3. Expresión fuerzas Sistema de Palanca*

El término *Fuerza Resistente* (R), se deduce para el funcionamiento del proyecto como el valor de la fuerza máxima de agarre de la mano artificial, la cual es capaz de soportar.

En el diseño del sistema, se tiene como referencia los valores de las fuerzas máximas de agarre (Tabla 1) a los que estará sometido. Estos, los cuales se explican en el apartado 2.3 de la Memoria (2.3 *Capacidades Dinámicas de la Mano*), utilizarán la mitad de su alcance permitiendo, así, diseñar los componentes con las dimensiones más adecuadas. (Figura 133)

<b>R<sub>1</sub></b>	<b>Pulp Pinch</b>	<b>44,15</b>
<b>R<sub>2</sub></b>	<b>Key Pinch</b>	<b>73,58</b>
<b>R<sub>3</sub></b>	<b>Cylindrical Grip</b>	<b>245,25</b>
	<b>Spherical Grip</b>	
	<b>Hook</b>	

Figura 133. Fuerzas máximas de agarre para manos artificiales [N]

Se van a suponer dos casos en el análisis de fuerzas en el dispositivo:

- En el primer caso, se considera que la resistencia es muy baja, la cual se fija en un valor de 0,1 kg de resistencia.
- En el segundo caso, se considera que la resistencia es muy alta, la cual se fija en un valor de 25 kg de resistencia.

Además, según requiera el caso, se establecen los valores de fuerza de brazo entre 0,05 y 5 kg, los cuales corresponden a las pesas que se utilizarán en el ensayo. Una vez conocidos éstos, se establece el parámetro **B<sub>R</sub>**, para el cual se considerarán diferentes posiciones discretas.

Esto se debe a las especificaciones establecidas para el diseño (3.2 *Especificaciones*), de las cuales se indica en concreto que, el sistema debe de incluir la regulación necesaria para adaptarse a diferentes dimensiones, por lo que se ajustarán las posiciones en caso de ajustar las dimensiones de la palanca. Para ello, la posición se podrá desplazar mediante un cojinete con un orificio, el cual se fijará, con un tornillo prisionero, respecto a otros taladros que se encontraran a lo largo de la barra desde el punto de apoyo.

Por lo que **B<sub>R</sub>** presenta diferentes valores, los cuales condicionan la longitud del otro extremo **B<sub>F</sub>** y, la resolución de la medida.

La resolución es un factor importante a considerar, ya que puede haber errores por el desplazamiento de la tuerca en el tornillo. Además, dicho movimiento influye en el desplazamiento del peso en la barra, ya que éste, depende del cojinete brazo que se une a la tuerca.

Para alcanzar esta resolución, es necesario obtener el avance de la tuerca en el tornillo por cada paso del motor, es decir, el mínimo movimiento que se desplaza la tuerca. En caso de que haya alguna desviación en el movimiento, se tomará un coeficiente de seguridad para que se cumplan las prestaciones mínimas que se requiere.

Por lo tanto, el dato correspondiente a lo que avanza la tuerca, se le aplicará este coeficiente de seguridad y se obtendrá el valor de lo que se desplaza por cada *n pasos* del motor.

El valor del avance condiciona el incremento de la fuerza **R**, el cual se obtiene con la relación entre el avance de la tuerca (en la longitud del brazo) y la distancia de **R** al punto de aplicación y, por lo tanto, condiciona el valor de la resolución de la medida. (Ecuación 4)

Se observan a continuación las siguientes expresiones:

$$\Delta_d = \frac{n_s \cdot p_T}{N} \quad \Delta_R = \frac{F \cdot \Delta_d}{B_R} \quad \text{Resolución} = \frac{\Delta_R}{R} \cdot 100$$

Ecuación 4. Avance tuerca, incremento fuerza resistente y resolución

En la siguiente Tabla 22, se observan los valores que se han considerado en la obtención de la resolución:

PASO TORNILLO	$p_T$	4 mm
Nº PASOS MOTOR	$N$	200
COEFICIENTE DE SEGURIDAD	$n_S$	4
AVANCE TUERCA	$\Delta_d$	0,08 mm

Tabla 22. Parámetros resolución

Una vez conocidos los parámetros, se pueden observar los valores de  $B_F$  y la resolución respecto a esas dimensiones propuestas para ambos casos de fuerzas, donde se han supuesto resistencias de 0,1 y 25 kg.

- CASO 1: Resistencia muy baja

R	0,1	kg
F	0,05	kg

$B_R$ (cm)	$B_F$ (cm)	$\Delta_R$ (kg)	RESOLUCIÓN (%)
1,5	3	0,0003	0,27
2	4	0,0002	0,20
2,5	5	0,0002	0,16
3	6	0,0001	0,13
3,5	7	0,0001	0,11
4	8	0,0001	0,10
5	10	0,0001	0,08

Tabla 23. Caso 1-Resistencia muy baja

- CASO 2: Resistencia muy alta

R	25	kg
F	5	kg

$B_R$ (cm)	$B_F$ (cm)	$\Delta_R$ (kg)	RESOLUCIÓN (%)
1,5	7,5	0,0267	0,11
2	10	0,0200	0,08
2,5	12,5	0,0160	0,06
3	15	0,0133	0,05
3,5	17,5	0,0114	0,05
4	20	0,0100	0,04
5	25	0,0080	0,03

Tabla 24. Caso 2- Resistencia muy alta

Se presentan las siguientes observaciones a partir de los resultados:

- La resolución de la medida mejora con el aumento de la distancia  $B_R$ .
- Para fuerzas de agarre muy bajas, se utilizan pesas más pequeñas para que la distancia  $B_F$  no se aproxime tanto al punto de apoyo.

### ***Análisis de las Fuerzas y CDM***

Para el cálculo de las fuerzas necesarias, se ha considerado que inicialmente el sistema estaba en equilibrio, pero para que un sólido esté en equilibrio la condición es que la fuerza resultante y el momento resultante sean nulos.

En el diagrama de sólido libre del sistema, se encuentra una acción debida al peso de la propia barra hueca y una reacción en el apoyo donde está articulada. Este apoyo, es el enlace con la estructura, la cual sostiene el dispositivo, pero no impide el giro del mecanismo. Por ello, hay que compensar este momento que genera el peso de la barra mediante contrapesos que contrarresten estas fuerzas resultantes.

Para conocer el peso necesario del contrapeso del sistema, habrá que considerar la ubicación del centro de masas (*CDM*), el cual se ubica inicialmente en la mitad de la barra, ya que se considera que es una barra homogénea. Esto no será preciso, dado que, ésta presenta huecos o taladros tanto en la unión con la estructura como para su regulación, de igual modo que, un espacio donde se encontrará una rosca para fijar el contrapeso.

Además, en cada extremo de la barra estarán ubicados dos cojinetes que se utilizarán para la sujeción con la parte resistente y de los mismos pesos. Por lo tanto, el *CDM* se obtendrá teniendo en cuenta los orificios que contiene y el peso de los cojinetes que se utilizará en el ensayo.

Considerando las distancias que se han estimado en el análisis de fuerzas, se presentan los siguientes valores:

- $L_{BRAZO} = B_F = 280 \text{ mm}$
- $L_{RESISTENTE} = B_R = 90 \text{ mm}$
- $L_{CONTRAPESO} = 82,5 \text{ mm}$
- $L_{BARRA} = B_R + B_F = 370 \text{ mm}$

En las medidas establecidas para la barra, se ha considerado un margen en los extremos, para cuando se alcance la máxima distancia, por los desplazamientos de los cojinetes, ya que puede darse el caso de que se utilice la regulación más próxima al contrapeso. Cabe añadir que la longitud del contrapeso, se ha estimado considerando las dimensiones de su diseño y éste se podrá observar al final del apartado en la Tabla 29. En la Figura 76 de la Memoria (4.3 *Subconjunto Palanca*), se observa cómo está formado el sistema de barra con cada una de las partes mencionadas anteriormente.

Las dimensiones del sistema de barra, se pueden observar en la Tabla 6 junto la cantidad de taladros y de taladros pasantes, los cuales son 9 y 1 respectivamente, y, el paso de la rosca mecanizada es de 2 mm. (Tabla 25)

	DIÁMETRO	LONGITUD
ROSCA BARRA	20	20
TALADRO	3	2
TALADRO PASANTE	12	

Tabla 25. Dimensiones Sistema Barra (mm)

En la Tabla 26 se observa el peso del sistema de la barra sin los cojinetes:

		V (mm <sup>3</sup> )	M (g)
BARRA HUECA		41846,0	326,4
MECANIZADO BARRA	ROSCA BARRA	248,8	1,9
	TALADRO	21,2	1,5
	TALADRO PASANTE	678,6	5,3
M <sub>SIST. BARRA</sub>		40897	318

Tabla 26. Peso Sistema Barra

Las posiciones respecto al CDM del sistema se han calculado mediante la herramienta de SolidWorks. Para ello, se ha considerado como referencia el agujero pasante, el cual corresponde al apoyo del sistema y, para la regulación del mismo, se ha distribuido de forma que cada taladro difiera una distancia de 5 mm. (Tabla 27)

X <sub>CDM</sub>	Y <sub>CDM</sub>	Z <sub>CDM</sub>
97,57	-0,03	0

Tabla 27. CDM Sistema Barra (mm)

Seguidamente, se añaden los cojinetes al sistema de barra y se procede a calcular de nuevo el CDM. (Figura 134)

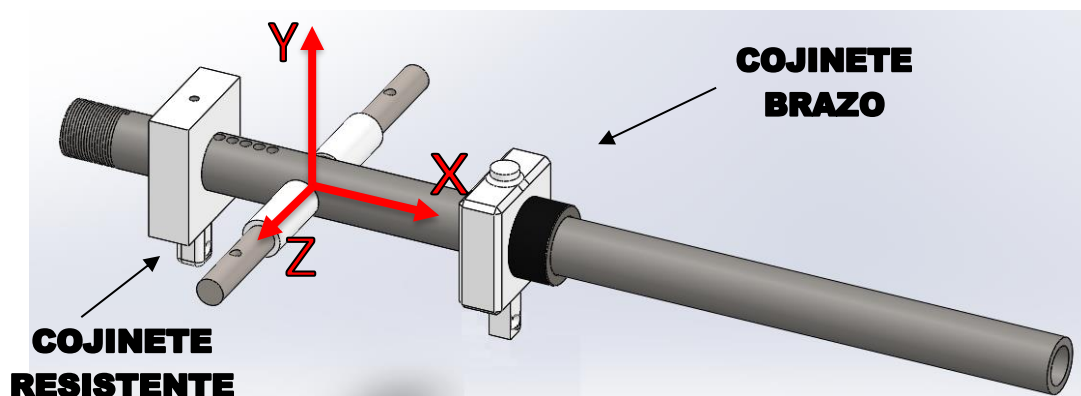


Figura 134. Cojinetes Brazo y Resistente

El peso de los cojinetes se ha estimado a través de la herramienta de SolidWorks, además de sus posiciones respecto al CDM. Antes del uso del dispositivo, se considera que estos se encuentran a una distancia, desde de su centro hasta el punto de apoyo, de 14 mm para el brazo, y, 15 mm para el resistente, ya que durante el ensayo se partirá desde la posición más próxima. (Tabla 28)

	M (g)	X <sub>CDM</sub>	Y <sub>CDM</sub>	Z <sub>CDM</sub>
<b>SISTEMA BARRA</b>	294	98	-0,03	0
<b>COJINETE BRAZO</b>	106	37	-0,19	0
<b>COJINETE RESISTENTE</b>	16	-15	-2,03	0
<b>ΣTOTAL</b>	415	77,84	-0,15	0

Tabla 28. CDM Total del Sistema (mm)

A continuación, se plantea en la Figura 135 el sistema de ecuaciones de las fuerzas y momentos que se aplican en la barra:

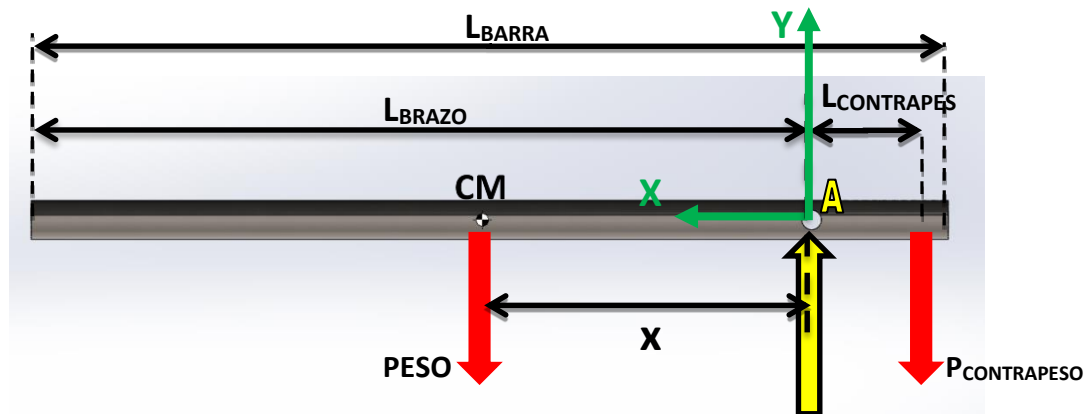


Figura 135. Sistema de Ecuaciones

$$\sum F_Y = 0 \quad \longrightarrow \quad PESO + P_{CONTRAPESO} = R_A$$

$$\sum M_{Y(A)} = 0 \quad \longrightarrow \quad PESO \cdot X - P_{CONTRAPESO} \cdot L_{CONTRAPESO} = 0$$

$$P_{CONTRAPESO} = \frac{PESO \cdot X}{L_{CONTRAPESO}} [kg]$$

Donde  $X = X_{CM} [mm]$

Por lo que  $X = 77,84 \text{ mm}$

$$\longrightarrow P_{CONTRAPESO} = \frac{0,415 \text{ kg} \cdot 77,84 \text{ mm}}{82,5 \text{ mm}} = \underline{0,392 \text{ kg}}$$

### Contrapeso

Una vez conocido el peso, se procede al diseño del contrapeso, el cual consiste en un cilindro hueco con una rosca interior (Figura 80). Se han utilizado las siguientes dimensiones: (Tabla 29)

<b>DIÁMETRO EXTERIOR</b>	<b>D<sub>OUT</sub></b>	67,49 mm
<b>DIÁMETRO INTERIOR</b>	<b>D<sub>IN</sub></b>	20 mm
<b>LONGITUD</b>	<b>L</b>	15 mm
<b>PASO</b>	<b>P</b>	2 mm
<b>VOLUMEN</b>	<b>V</b>	48945,2 mm <sup>3</sup>
<b>DENSIDAD</b>	<b>ρ<sub>Ac. Inox</sub></b> AISI 304	0,008 g/mm <sup>3</sup>
<b>MASA</b>	<b>M</b>	391,6 g

Tabla 29. Dimensiones Contrapeso

Utilizando el contrapeso, se consigue que el sistema este en equilibrio en la posición inicial, pero como se requiere del uso de diferentes posiciones discretas, habrá que calcular el máximo recorrido del contrapeso.

## 2.2. RECORRIDO CONTRAPESO

Esta distancia se calcula considerando los extremos donde alcanza el cojinete resistente, los cuales corresponden a la posiciones discretas 15 y 55 mm respectivamente. Como el *CDG* del sistema palanca cambia según la posición donde se ubique el cojinete, se compara la posición de ambos extremos: la primera posición corresponde a la posición inicial, la cual se ha calculado anteriormente y, la otra, se observa en la Tabla 30. (Figura 136)

	<b>X<sub>RESISTENTE</sub></b>	<b>X<sub>CDM</sub></b>	<b>Y<sub>CDM</sub></b>	<b>Z<sub>CDM</sub></b>
<b>POS 1</b>	15	77,84	-0,15	0
<b>POS 9</b>	55	76,35	-0,15	0

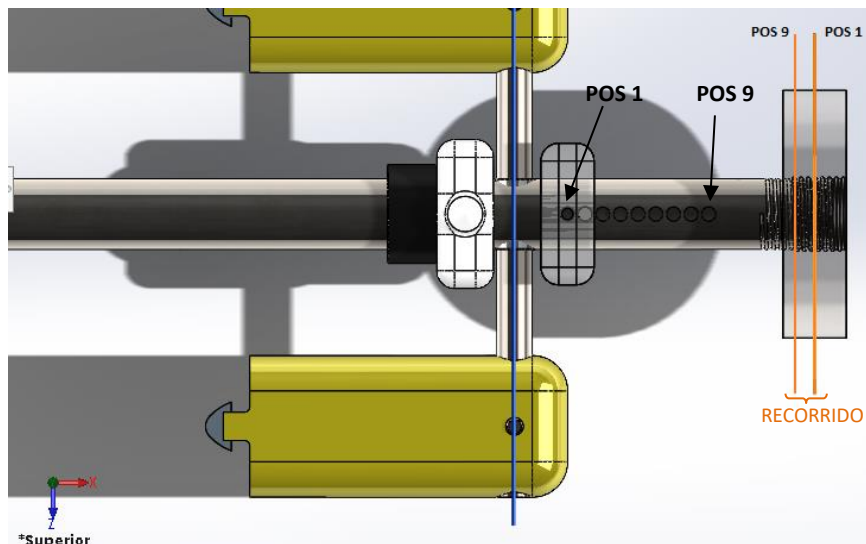
Tabla 30. *CDG* del sistema en función de su posición (mm)

Conocidas cada una de las posiciones, se aplica la ecuación del cálculo del contrapeso que se observa en la Figura 135 y, sustituyendo se obtiene la longitud recorrida. (Tabla 31)

	<b>X<sub>RESISTENTE</sub></b>	<b>X<sub>CDM</sub></b>	<b>L<sub>RESISTENTE</sub></b>
<b>POS 1</b>	15	77,84	82,50
<b>POS 9</b>	55	76,35	80,92
<b>RECORRIDO MÁXIMO</b> <b>( L<sub>POS 1</sub> - L<sub>POS 9</sub> )</b>			1,58

Tabla 31. Recorrido Contrapeso (mm)



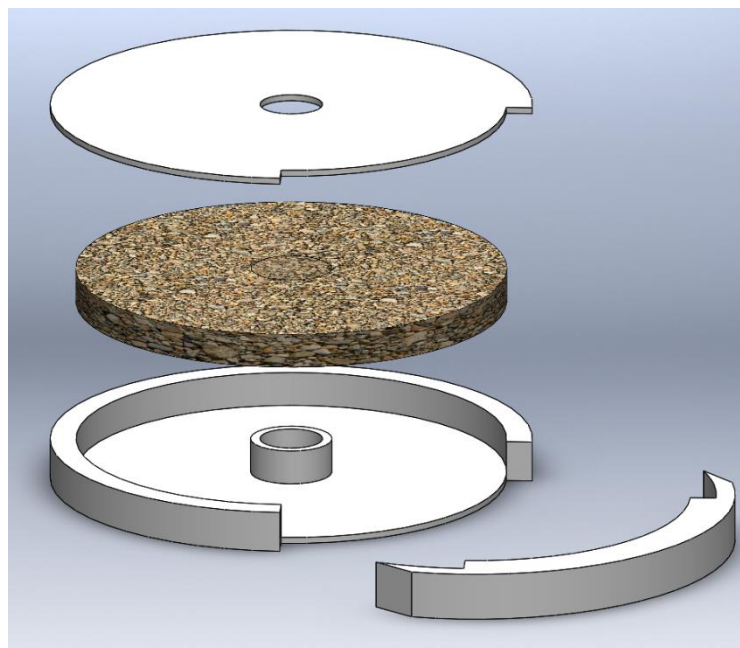


*Figura 136. Recorrido en el Sistema Barra*

### 2.3. ALTERNATIVA CONTRAPESO DE GRAVA

Esta alternativa consiste en utilizar un cilindro hueco impreso en 3D, el cual se introduce en la cavidad una cantidad de grava hasta alcanzar la proporción exacta. Está formado por tres partes:

- Base: se trata de una pieza circular, con un orificio en su centro del tamaño de la rosca del tubo. Está formada por paredes en su contorno tanto en el exterior como en el orificio del agujero.
- Tapa: se trata de una pieza que une el contorno de la base, y junto con esta, tiene una cavidad para facilitar el llenado de grava.
- Tapa lateral: se trata de la pieza que cierra el contorno del cilindro, una vez esté llenado su interior con la grava.
- Grava: se trata de un conjunto de piedras de tamaño granular que se introducirán en el interior del cilindro hueco.



*Figura 137. Vista explosionado del Contrapeso de Grava*

Para llevar a cabo el cálculo de las dimensiones de cada una de sus partes, se ha tenido en cuenta la densidad de los materiales (la grava y el plástico PLA), las dimensiones de referencia del ancho y tamaño de la rosca.

Mediante el programa SolidWorks, se ha hecho un cálculo aproximado del peso del cilindro hueco junto con el volumen que ocuparía la grava. Los valores obtenidos se muestran a continuación:

		PLA	GRAVA
<b><math>\rho</math></b>	( g/mm <sup>3</sup> )	0,00124	0,0016
<b>V</b>	( mm <sup>3</sup> )	120968	155822
<b>M</b>	( g )	150	250
<b>M<sub>Total</sub></b>	400 g		

Tabla 32. Dimensiones del Contrapeso de Grava

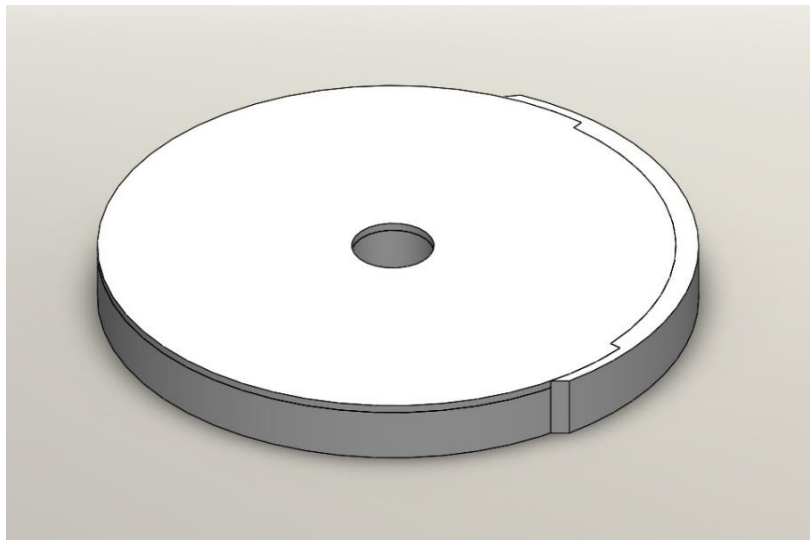


Figura 138. Contrapeso de Grava

## 2.4. REGULACIÓN DE ALTURA

La altura del sistema debe de ajustarse acorde las posiciones que se adopten para cada ensayo, ya que, el final de carrera que se ubica en la plataforma (Figura 86), debe de contactar a la distancia adecuada para que la medida que se obtenga sea fiable.

Los cálculos necesarios para ajustar la altura del sistema de regulación se basan en la posición del brazo. Este último, al variar de posición, provoca que cambie el ángulo de inclinación ( $\alpha$ ), por lo que, provoca que la distancia en el extremo varíe también.

Siguiendo las especificaciones del sistema, las cuales se mencionan en el apartado 3.2 de la *Memoria*, se establece una altura de 3 mm respecto al ángulo de inclinación. Esta medida de altura, se define como el margen de distancia de pérdida de agarre.

Para llevar a cabo el desarrollo de cálculos, se aplicarán relaciones de trigonometría entre los lados que forma la palanca, puesto que, forman diferentes triángulos las dimensiones que componen sus trazos.

Estos trazos se forman por las medidas que se alcanzan entre el brazo y la altura, de esta misma relación, se obtiene un ángulo de inclinación, el cual compartirán todos los triángulos que estén en el mismo conjunto. Una vez conocido, se puede obtener la altura que corresponde al brazo largo o brazo F. (Figura 139)

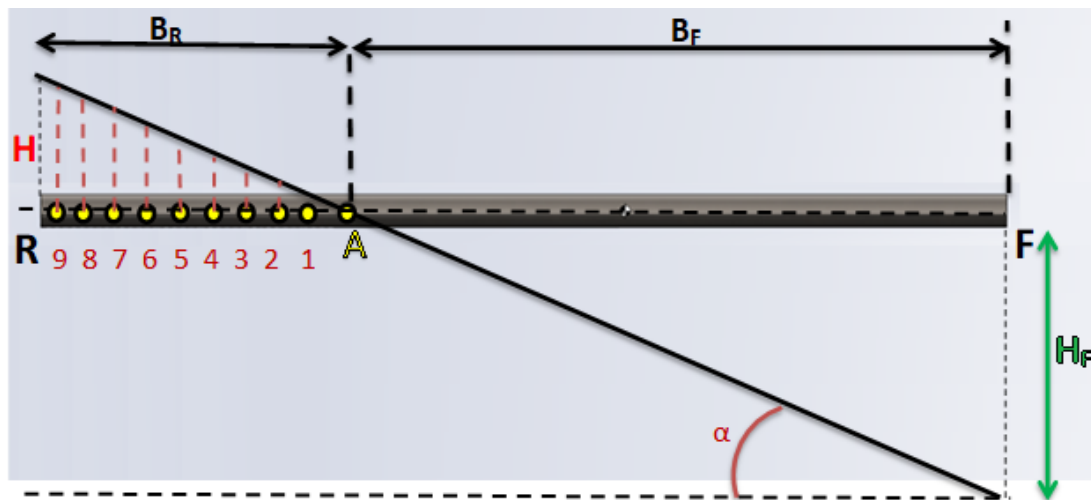


Figura 139. DSL Posición Inicial Palanca – Sistema Regulación Altura

Observando el esquema de cómo se distribuyen las distancias en la barra según la posición, se plantean las ecuaciones: (Ecuación 5)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{H}{B_R} = \tan \alpha \\ \frac{H_F}{B_F} = \tan \alpha \end{array} \right\} H_F = \frac{B_F}{B_R} \cdot H$$

Ecuación 5. Relación Distancia Tangente - Brazo Palanca

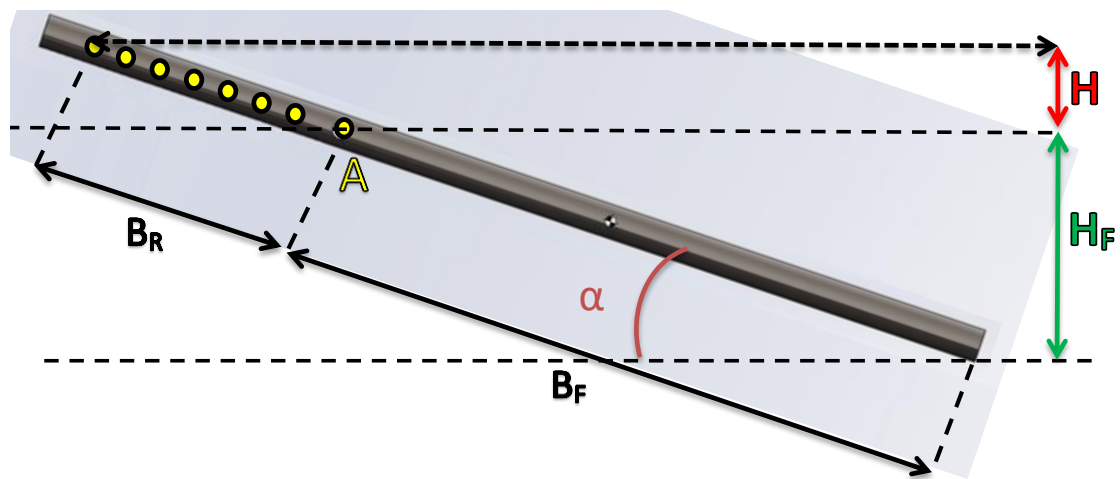


Figura 140. DSL Posición Inclinada Palanca – Sistema Regulación Altura

Al igual que como se plantea para la Figura 139, se establecen las relaciones trigonométricas para las distancias con la inclinación que adopta la palanca y, para las cuales, cambia la obtención del ángulo respecto al seno (Figura 140). Al ser valores muy pequeños, el ángulo será prácticamente el mismo. (Ecuación 6)

$$\left. \begin{array}{l} \frac{H}{B_R} = \sin \alpha \\ \frac{H_F}{B_F} = \sin \alpha \end{array} \right\} H_F = \frac{B_F}{B_R} \cdot H$$

Ecuación 6. Relación Distancia Seno - Brazo Palanca

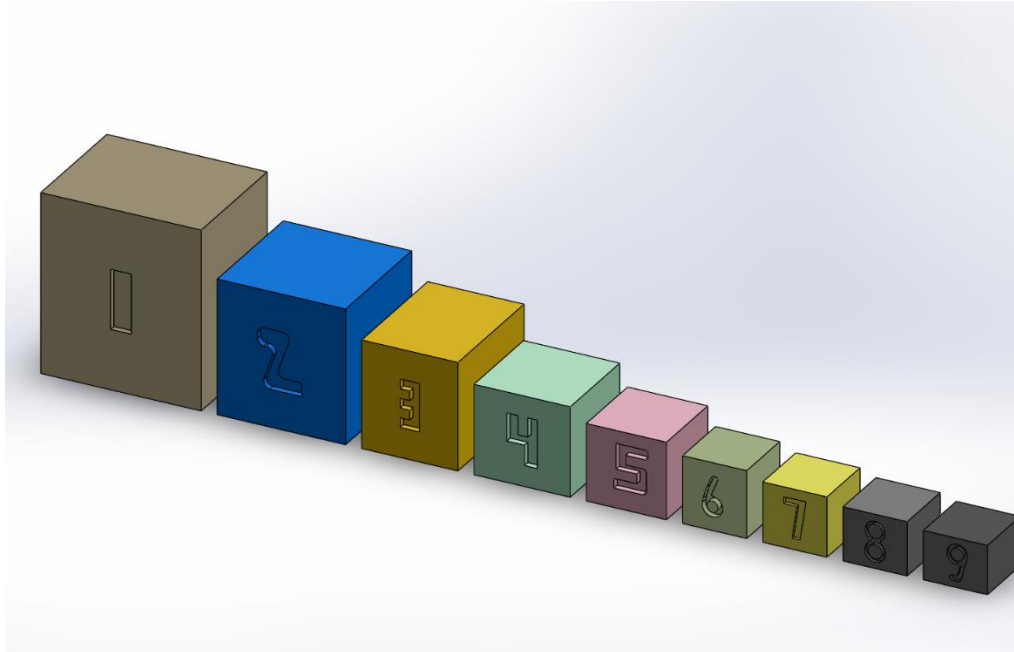
Una vez conocidos los parámetros, se obtienen los valores para las distintas posiciones, y se observa que en los extremos del brazo resistente se encuentran el ángulo máximo y mínimo. (Tabla 33)

	$B_{\text{RESISTENTE}}$ (mm)	$\alpha$ (°)	$H_F$ (mm)
POS 1	15	11,38	56,00
POS 2	20	8,56	42,00
POS 3	25	6,86	33,60
POS 4	30	5,72	28,00
POS 5	35	4,91	24,00
POS 6	40	4,29	21,00
POS 7	45	3,82	18,67
POS 8	50	3,44	16,80
POS 9	55	3,12	15,27

Tabla 33. Valores Distancia Total Palanca

Por último, se concluye que el sistema de regulación de altura se regula entre dos distancias: la posición 1, con una distancia 56 mm y, para la posición 9, una distancia de 15,27 mm.

Para facilitar el ajuste y el tiempo entre ensayos, se elaboran un conjunto de piezas con las dimensiones correspondientes a la altura necesaria para cada una de las posiciones (Figura 141). Estas piezas se colocarán entre el tubo y el final de carrera, según la posición seleccionada, y, una vez ajustada la altura, se retirará para realizar el ensayo.



*Figura 141. Set de piezas para regular la altura*

### 3. ESTUDIO ESTÁTICO

#### 3.1. BARRA UNIÓN SISTEMA PALANCA

Para analizar los esfuerzos y los puntos críticos de la estructura, es necesario llevar a cabo un análisis, el cual incorpore una serie de simulaciones que permitan dimensionar la estructura de la forma más óptima.

Para ello, se ha llevado a cabo un estudio a través de un análisis por elementos finitos con el software de diseño SolidWorks, en el cual se verifica la resistencia de la estructura.

El análisis se desarrolla en la barra del sistema de palanca, ya que es el elemento que une el dispositivo con los perfiles y, por tanto, la zona principal de la estructura donde sufre más esfuerzo por las cargas. (Figura 142)

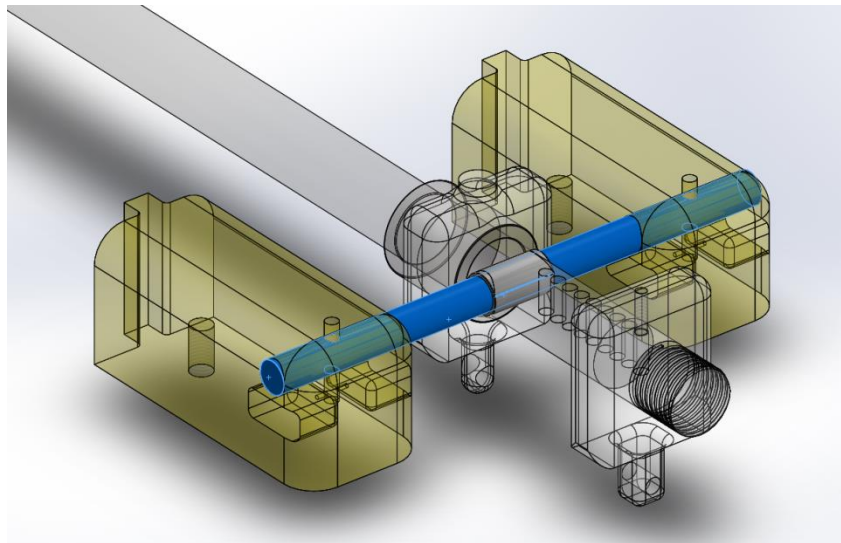


Figura 142. Barra Unión Soporte con Sistema de Palanca

En la siguiente Figura 143, se observan las distribuciones de los esfuerzos alrededor del cojinete de fricción y, en las zonas más próximas a los soportes, antes de que se produzca la deformada.

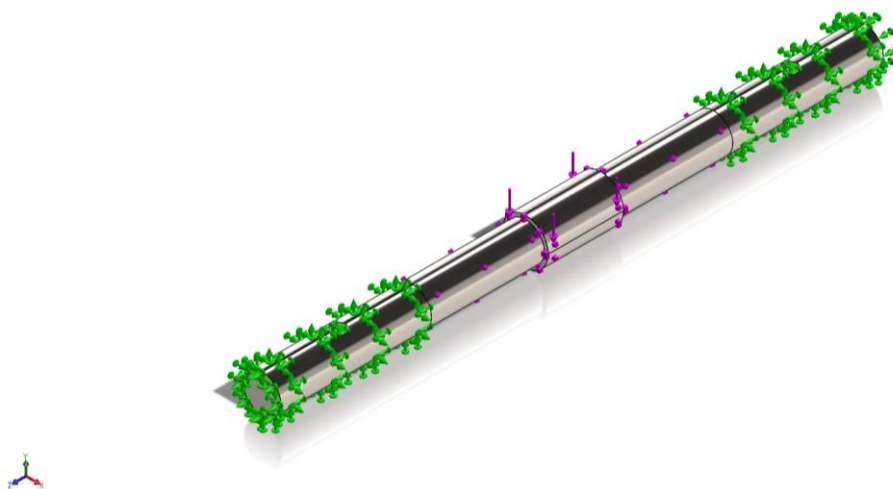


Figura 143. Barra con Esfuerzos y Sujeciones

El cojinete se somete bajo la condición más desfavorable, es decir, el caso donde el agarre es máximo, además de los pesos de los elementos del sistema se alcanza una fuerza máxima aproximadamente de 70 N.

Como se observa en la Figura 144, la tensión máxima tiene lugar en los extremos próximos a los soportes, donde el valor máximo es de 15,9 MPa según el criterio de Von Mises. Teniendo en cuenta que el límite elástico del material es de 138 MPa, se concluye que la estructura es estable y resistente para los ensayos.

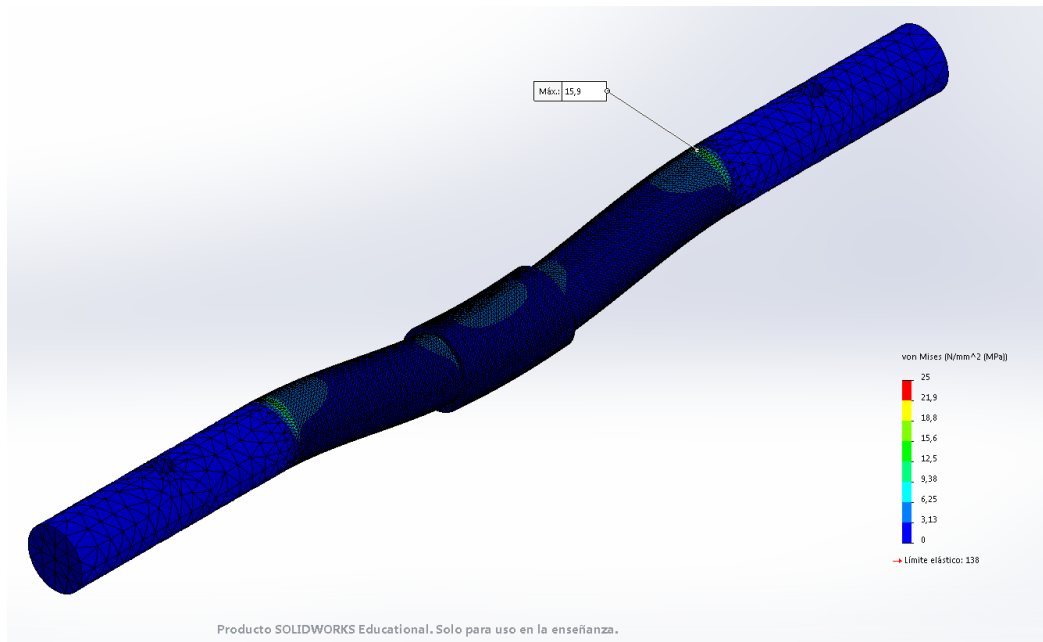


Figura 144. Tensiones en la Barra

En la Figura 145, se observa el factor de seguridad mínimo que podría alcanzar, siendo el valor de FDS=8,68. El factor de seguridad es muy amplio por lo que se podrían ajustar más los parámetros de esfuerzos sin ninguna consecuencia.

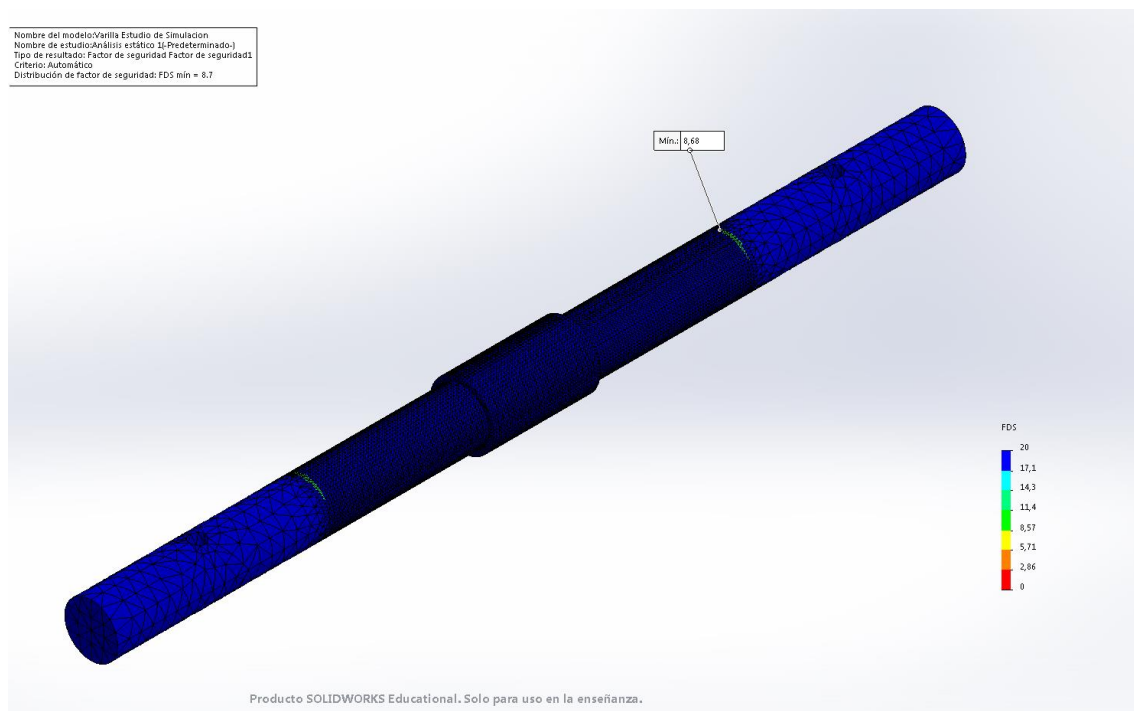
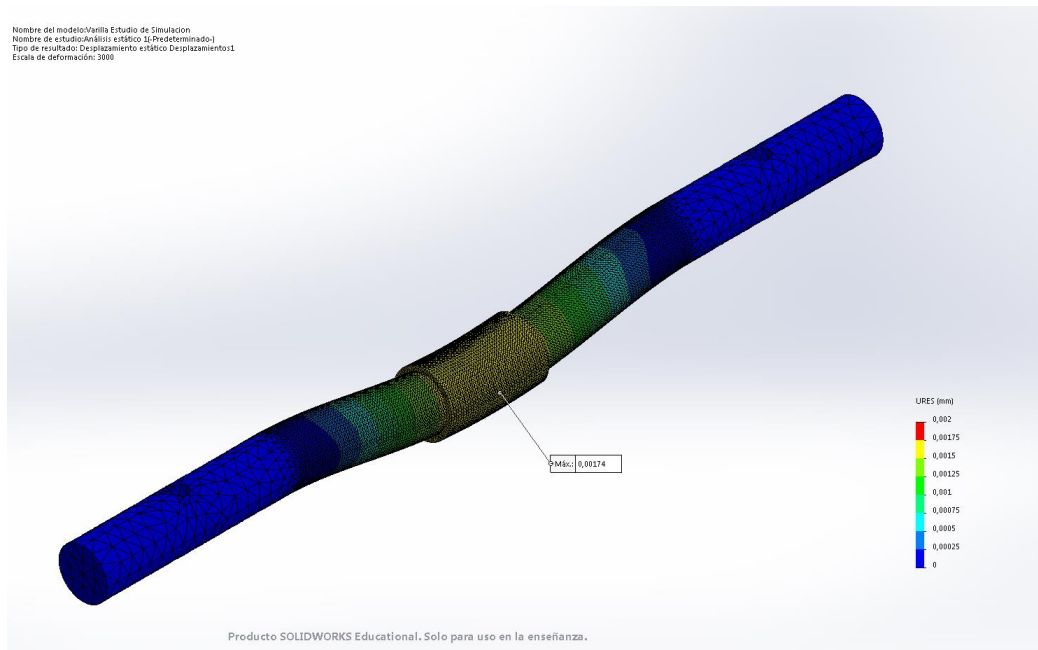


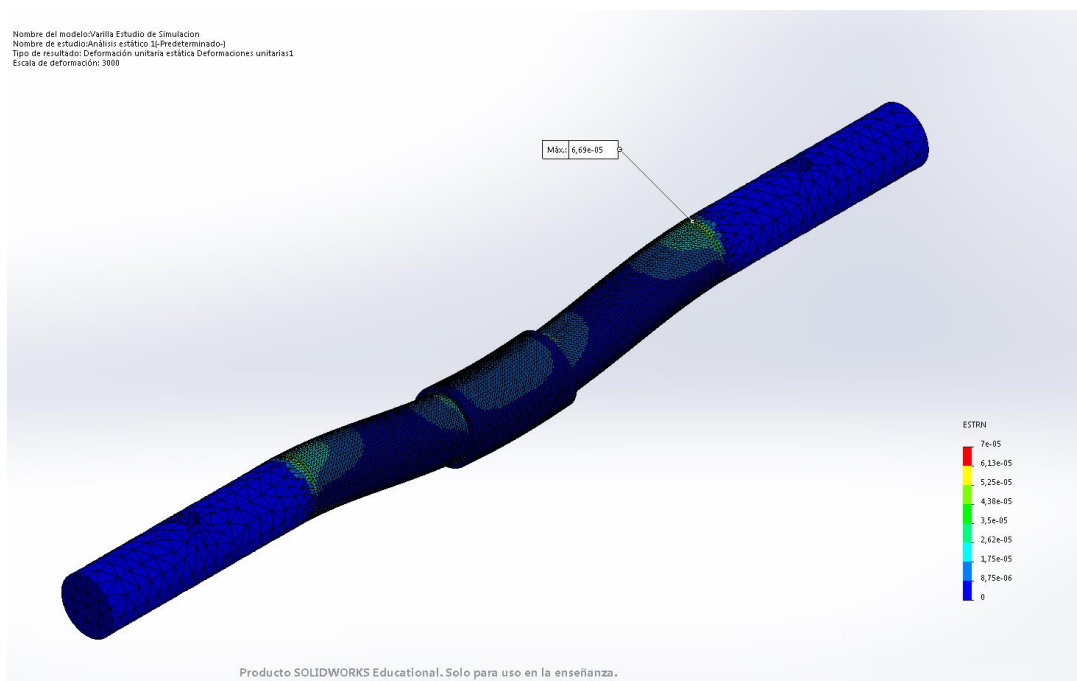
Figura 145. Factor de Seguridad

En la Figura 146, se observan los desplazamientos resultantes, siendo el desplazamiento máximo de 0,00174 mm alrededor del cojinete de fricción donde se concentran más las fuerzas en la unión, se concluye al igual que en el estudio previo que el valor es admisible para el diseño.



*Figura 146. Desplazamientos Resultantes en la Barra*

En la Figura 147, se observan las deformaciones unitarias, siendo la deformación máxima en los extremos, donde el valor máximo es de  $6,69 \times 10^{-5}$ . Las deformaciones son muy bajas por lo que no afectan al material.



*Figura 147. Deformación Unitaria Equivalente en la Barra*



### 3.2. ENGANCHES OBJETOS

En el diseño de los objetos, se han adaptado diferentes enganches en función de sus dimensiones y, la forma, para poder acoplar el hilo o cable que se utiliza en el ensayo. Para verificar que el enganche soporta las fuerzas de los ensayos, se analizará la resistencia del diseño mediante un estudio de elementos finitos.

En primer lugar, se analiza el enganche que corresponde al Prisma 1, Prisma 2, Cilindro 1, Cilindro 2 y Cilindro 3. Al ser del mismo tipo se realiza el estudio en uno de ellos y, se somete a la situación más desfavorable, es decir, el caso donde se utilizan agarres de fuerza máxima de 245,24 N (Figura 133).

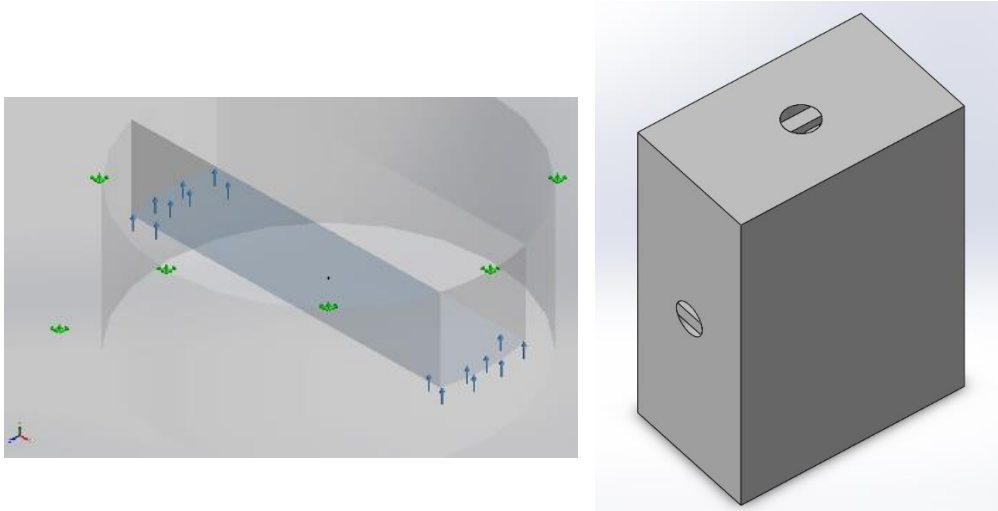


Figura 148. Enganche con Esfuerzos y Sujeciones – Prisma 1

En el análisis de tensiones según el criterio de Von Mises, se obtiene una tensión máxima de 42,10 MPa, esta tensión no será crítica por lo que se concluye que el diseño soportará el ensayo. (Figura 149)

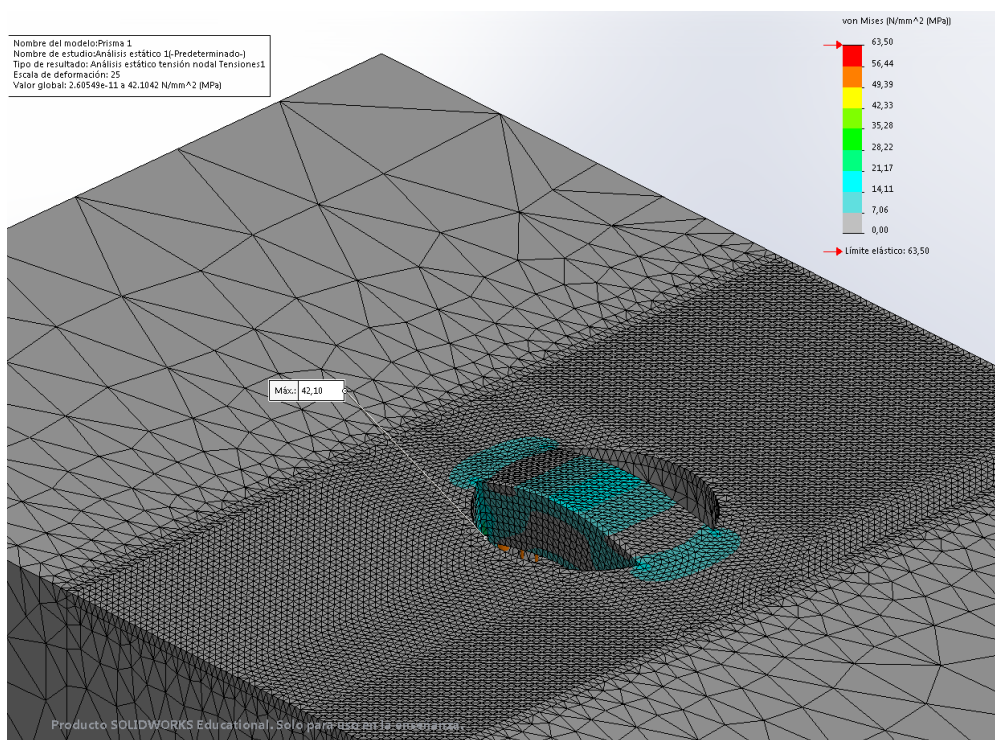
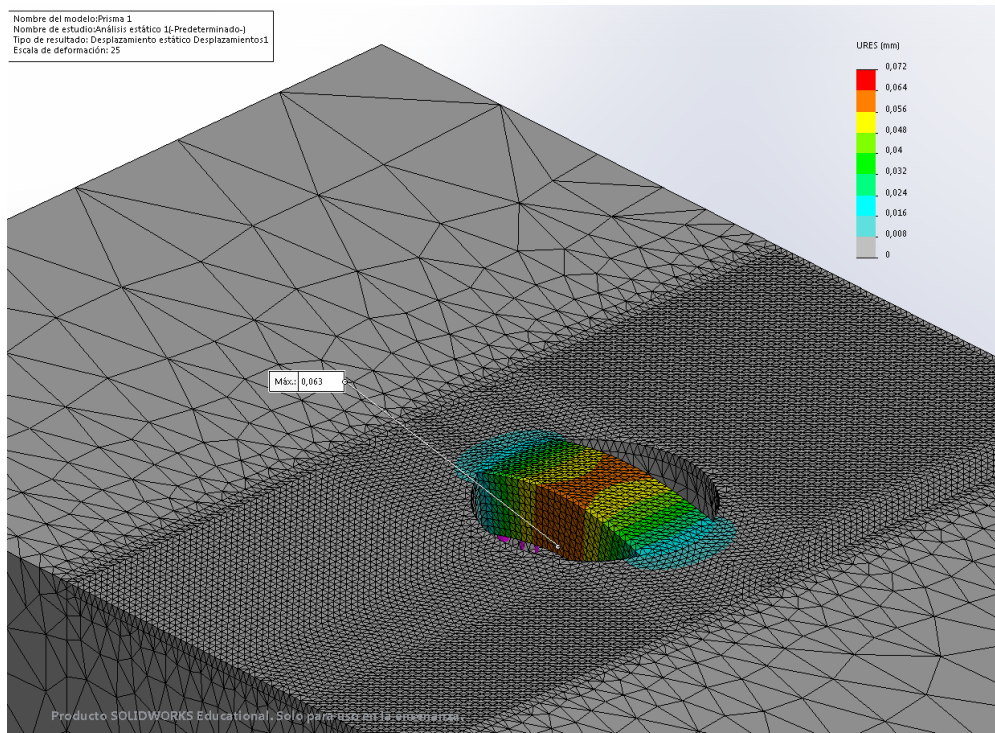


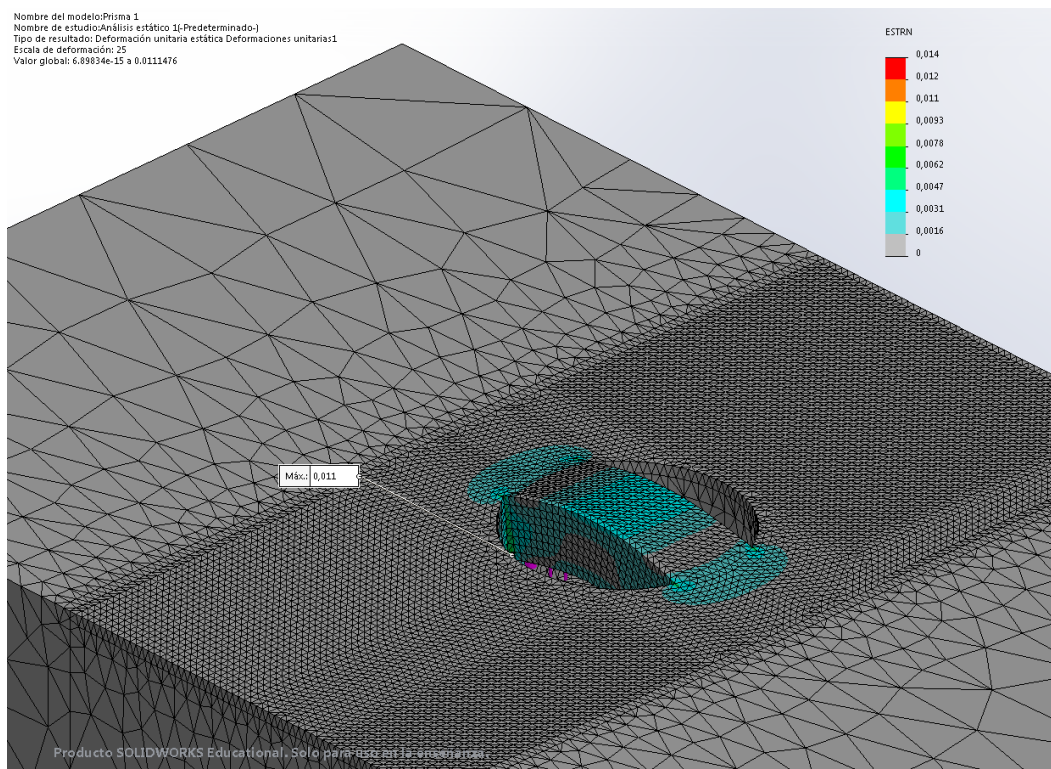
Figura 149. Tensiones en el Enganche - Prisma 1

En el análisis de desplazamientos resultantes, se obtiene un valor máximo de 0,063 mm en el centro del enganche, se concluye que este es admisible para el diseño. (Figura 150)



*Figura 150. Desplazamiento Resultantes en el Enganche - Prisma 1*

En el análisis de deformaciones unitarias, se obtiene un valor máximo de 0,011 en los extremos, se concluye que las deformaciones no afectarán al diseño. (Figura 151)



*Figura 151. Deformación Unitaria Equivalente en el Enganche -Prisma 1*

A continuación, se analiza el enganche que corresponde a la Esfera 1 y Esfera 2, al igual que en los enganches anteriores, para la situación más desfavorable. Este caso corresponde a los agarres de fuerza máxima de tipo esférico cuyo valor es de 245,25 N. (Figura 133)

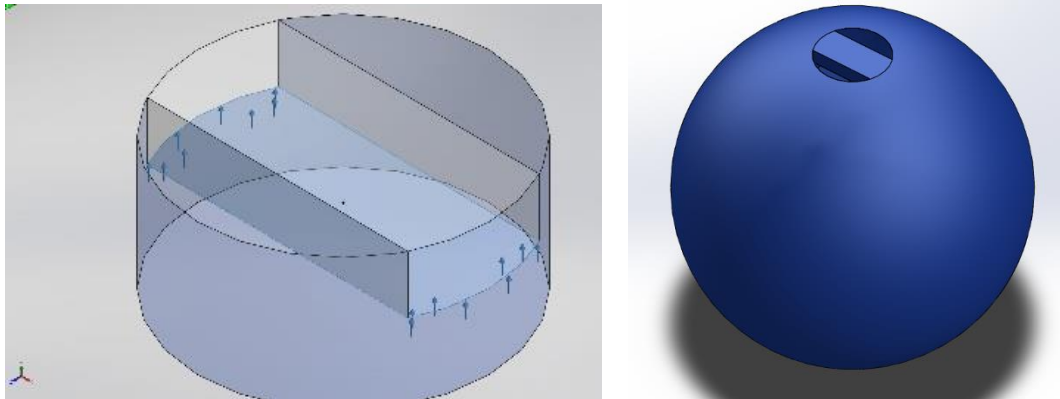


Figura 152. Enganche con Esfuerzos y Sujeciones – Esfera 1

En el análisis de tensiones según el criterio de Von Mises, se obtiene una tensión máxima de 42,9 MPa, esta tensión no será crítica por lo que se concluye que el diseño soportará el ensayo. (Figura 153)

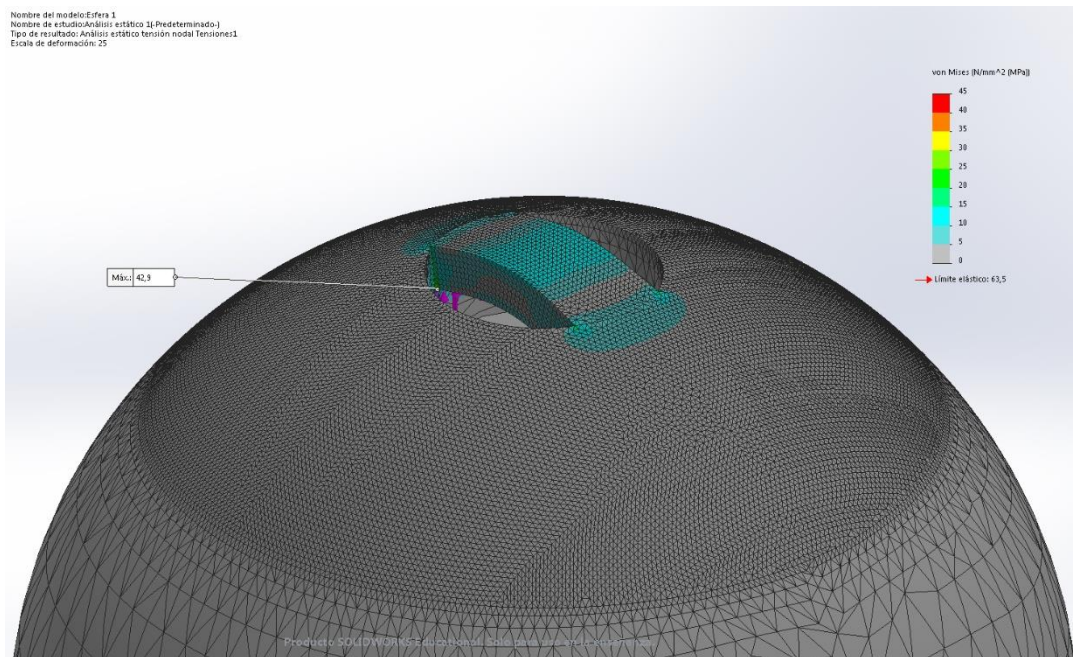


Figura 153. Tensiones en el Enganche - Esfera 1



En el análisis de desplazamientos resultantes, se obtiene un valor máximo de 0,081 mm en el centro del enganche, se concluye que este es admisible para el diseño. (Figura 154)

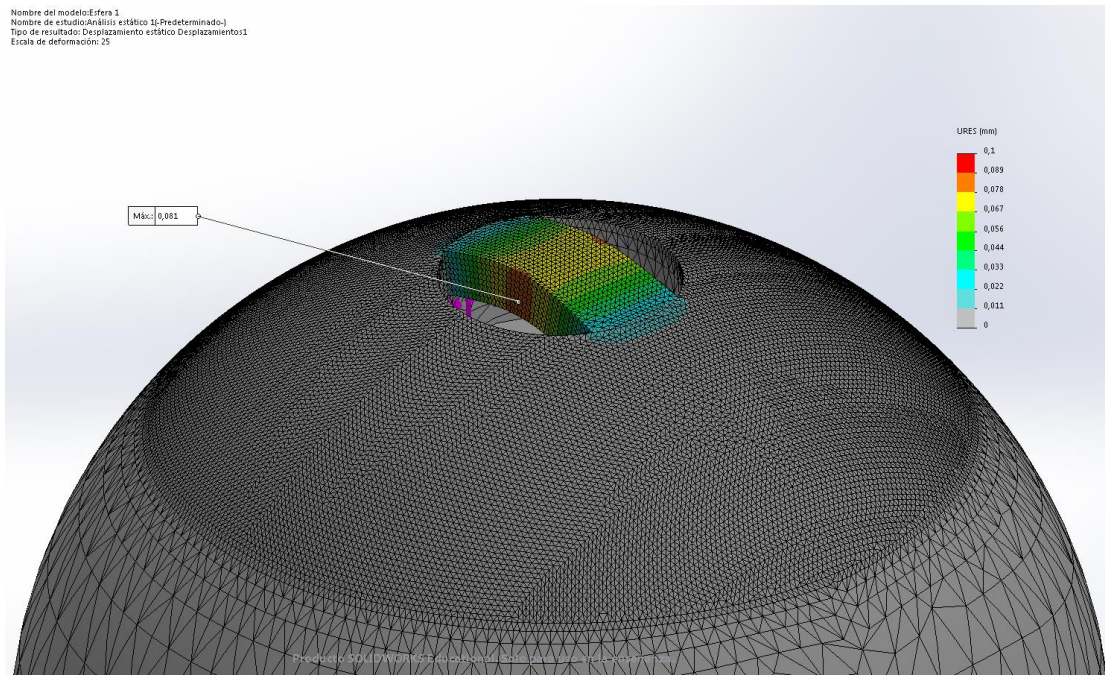


Figura 154. Desplazamientos Resultantes en el Enganche - Esfera 1

En el análisis de deformaciones unitarias, se obtiene un valor máximo de 0,011 en los extremos del enganche, se concluye que las deformaciones no afectarán al diseño. (Figura 155)

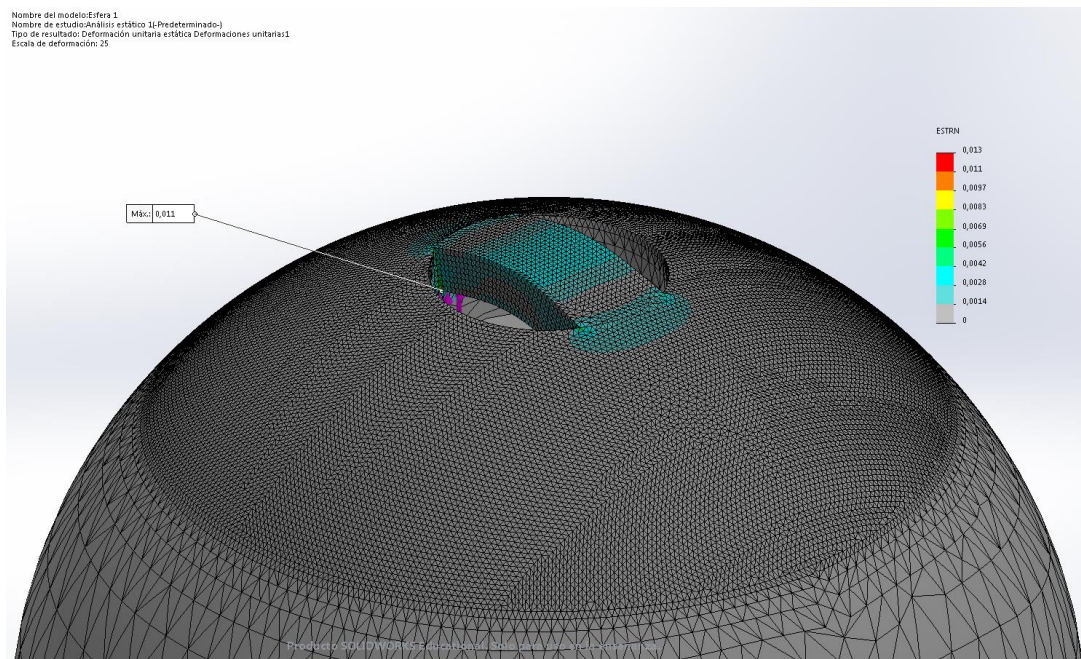


Figura 155. Deformación Unitaria Equivalente en el Enganche - Esfera 1

## 4. PROGRAMA ARDUINO

A continuación, se muestra el código utilizado tanto para controlar el sistema como para recibir datos de la app del dispositivo móvil vía bluetooth.

```

/*
  Stepper Motor Control with Driver DRV8825 & 2 endstops
*/

#include <Stepper.h>

//Definición de los pines
#define DIR 5          // Pin de la dirección de giro del Motor para el driver
                        DRV8825
#define STEP 8         // Pin de pulsos para el driver DRV8825
#define fincarrera1 2  // Final de carrera 1
#define fincarrera2 3  // Final de carrera 2
int estado =0;        // Define el estado de la posición del ensayo
const int pasos = 200; // Cambia este valor para fijar el número de pasos por
                        revolución para tu motor

// Se definen las conexiones del motor paso a paso (DIR Y STEP) junto con el
número de pasos
// y el tipo de interfaz del motor para establecer el controlador.
Stepper stepper(pasos,8,5 );
#define motorInterfaceType 1

void setup() {

  // Se establece la velocidad máxima en pasos por segundo:
  stepper.setSpeed(250);
  // Se inicia el puerto serial:
  Serial.begin(9600);

  // Definición de los puertos de entrada y salida
  pinMode(STEP,OUTPUT);
  pinMode(DIR,OUTPUT);
  pinMode(fincarrera1,INPUT);
  pinMode(fincarrera2,INPUT);
}

void loop() {

  delayMicroseconds (10);
  if(Serial.available() > 0) {
    estado = Serial.read();
    delay(100);
    if (estado == '1' ){
      Serial.println("Bluetooth Conectado");
    }
  }
  switch(estado) {

  case 'a' :
    delay(10);
    Serial.println("HOME");
    delay(10);

    if(digitalRead(fincarrera1)==LOW){// Si NO está en contacto con el final de
    carrera 1

      Serial.println("clockwise"); // El puerto serial imprime clockwise

      stepper.step(-2*pasos);

```

```
//5.64*200 es el numero de vueltas del motor para que la rueda de
salida gire 90°

    delay(1);
    if(estado == 'c'){
        delay(1);
        Serial.println("PARADO DE EMERGENCIA");
        stepper.step(0);
        delay(1);
        estado = 0;
    }
}
else{
    stepper.step(0);
    delay(1);
    Serial.println("PARADO");
    estado = 0;
}
break;

case 'b' :
    delay(10);
    Serial.println("START");
    delay(10);

    if(digitalRead(fincarrera2)==LOW){// Si NO está en contacto con el final
de carrera 2

        Serial.println("counterclockwise"); // El puerto serial imprime
counterclockwise

        stepper.step(2*pasos);

        //5.64*200 es el numero de vueltas del motor para que la rueda de
salida gire 90°

        delay(1);
        if(estado == 'c'){
            delay(1);
            Serial.println("PARADO DE EMERGENCIA");
            stepper.step(0);
            delay(1);
            estado = 0;
        }
    }
    else {
        stepper.step(0);
        delay(10);
        Serial.println("PARADO");
        estado = 0;
    }
    break;

default :
    break;
}
}
```

## 5. APP DISPOSITIVO MÓVIL

### 5.1. INTERFAZ APP

En este apartado, se explica el desarrollo de la app para controlar el proyecto y el aspecto visual que presenta con cada uno de sus componentes.

La aplicación móvil se ha llevado a cabo mediante la plataforma online *MIT App Inventor 2*, la cual se trata de un entorno de desarrollo de software creado por *Google Labs* para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web.

En primer lugar, se muestra la interfaz de la aplicación con cada uno de los elementos que se han desarrollado para hacer el control más sencillo y cómodo.

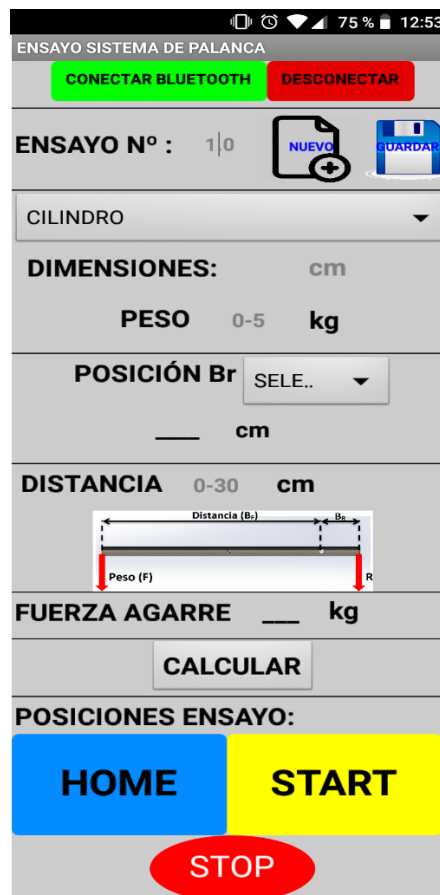


Figura 156. Interfaz App Dispositivo

Se presentan diferentes botones en la interfaz que tienen los siguientes significados:

- Conectar/Desconectar Bluetooth.
- LISTA DE OBJETOS: desplegable que permite seleccionar el objeto deseado.
- POSICIÓN Br: desplegable que asigna la posición utilizada en el ensayo.
- HOME: botón para establecer la posición de inicio del ensayo.
- START: botón que permite accionar el ensayo.
- STOP: botón para detener el ensayo en caso de necesidad.
- CALCULAR: botón que genera el resultado de la fuerza de agarre del ensayo.
- NUEVO: botón que permite restaurar los valores asignados en los espacios o pestañas.
- GUARDAR: botón que permite almacenar los datos seleccionados en la interfaz.

## 5.2. FUNCIONAMIENTO APP

Para conectarlo, se necesita tener la conexión bluetooth del smartphone activado y, además, sincronizado con el módulo Bluetooth HC-05. Una vez activada la conexión, se procede a seleccionar en la aplicación el botón *Conectar Bluetooth* y, aparecerá el listado de los diferentes dispositivos, de los cuales se seleccionará el correspondiente al módulo. Cuando se conecte cambiará el texto a Conectado.

Una vez esté conectado el dispositivo, se podrá iniciar el ensayo del sistema de palanca mediante los pulsadores de posición, como se pueden observar en la Figura 156.

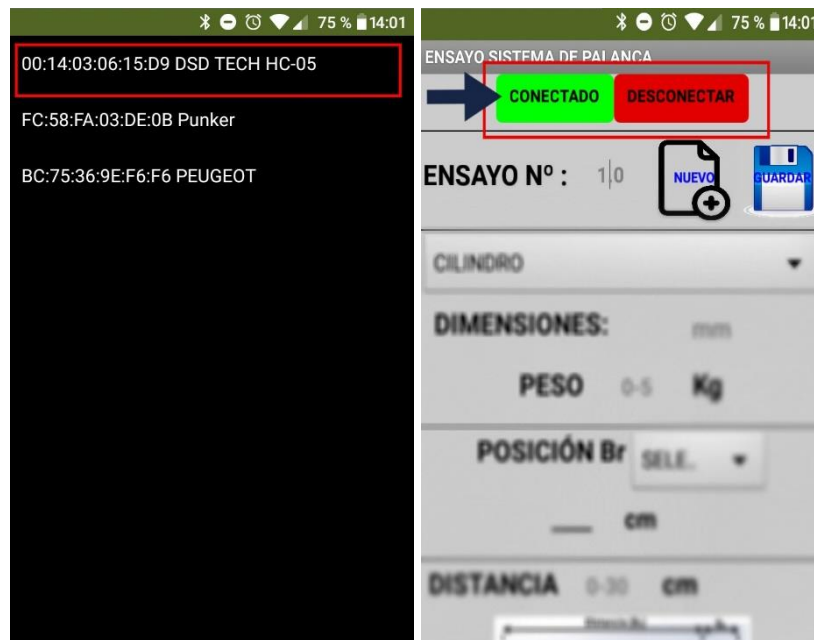


Figura 157. Conexión Bluetooth App Dispositivo

En relación a la conexión Bluetooth con Arduino, se puede comprobar que el dispositivo está correctamente conectado con la aplicación móvil mediante el programa de IDE Arduino. En el monitor Serial del mismo programa (Figura 158), se puede observar la comunicación del módulo HC-05 con la app, por lo que cada vez que se conecte, se generará el mensaje de: *Bluetooth Conectado*.

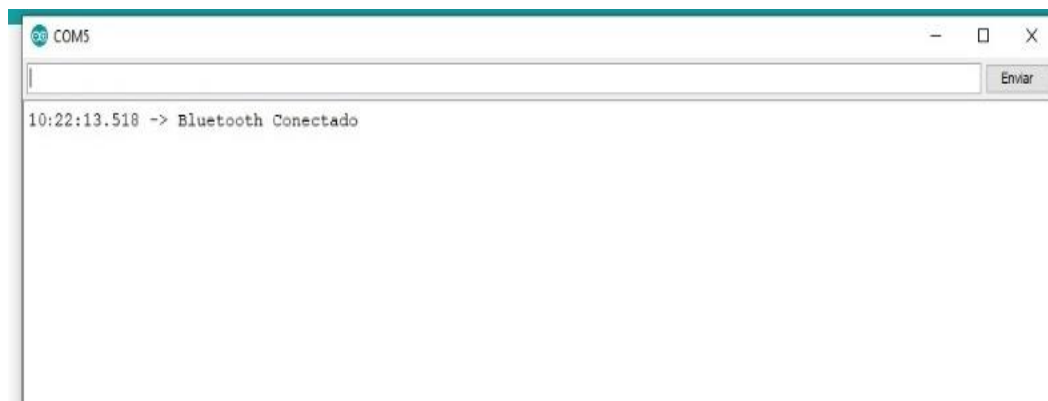


Figura 158. Monitor Serial IDE Arduino



Para seleccionar los parámetros que se requieran para cada ensayo, se utilizarán tanto casillas que permiten redactar campos de texto, como listas desplegables, las cuales permitan seleccionar diferentes opciones.

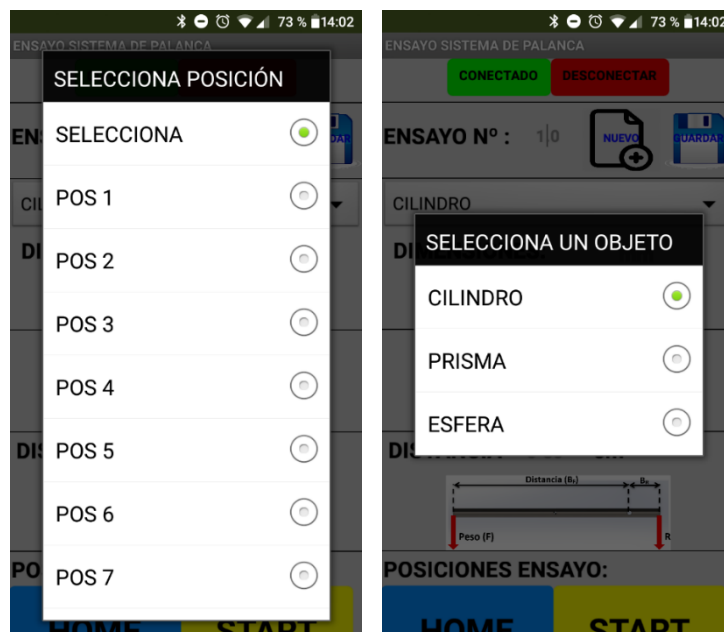


Figura 159. Listas Desplegables App Dispositivo

En cuanto al botón *Calcular*, se utiliza para generar el resultado de la fuerza máxima de agarre obtenido en el ensayo, por lo que, para su correcto uso, se seleccionarán los parámetros correspondientes a las distancias y peso, y, una vez se pulse el botón, aparecerá el resultado junto a la casilla de Fuerza Agarre.



Figura 160. Calcular Fuerza de Agarre App Dispositivo

El cálculo de la fuerza de agarre, se ha hecho aplicando la Ecuación 3 del apartado 2.1 del Anexo pero transformada a operaciones lógicas de bloques, la cual se observa más adelante en el apartado 5.4 junto con el resto del código de la aplicación.

Para guardar los datos después de la finalización del ensayo, se seleccionará el botón *Guardar* y se generará en la carpeta de descargas (*Download*), un archivo tipo .txt con los datos seleccionados.

Este archivo tendrá como nombre: *datos\_ensayo\_sistema\_palanca.txt* y, cada vez que se guarde un ensayo, se añadirán los parámetros, a continuación del previo y siempre en el mismo archivo. Además del botón de guardado, se dispone de un botón llamado *Nuevo*, el cual sirve para eliminar los campos de texto que se hayan escrito en las casillas y, así, permitir la introducción de nuevos valores.

Una vez estén todos los ensayos realizados, se compartirá el archivo con *Google Docs* y, así, facilitará la visualización y recopilación de los datos. (Figura 161)

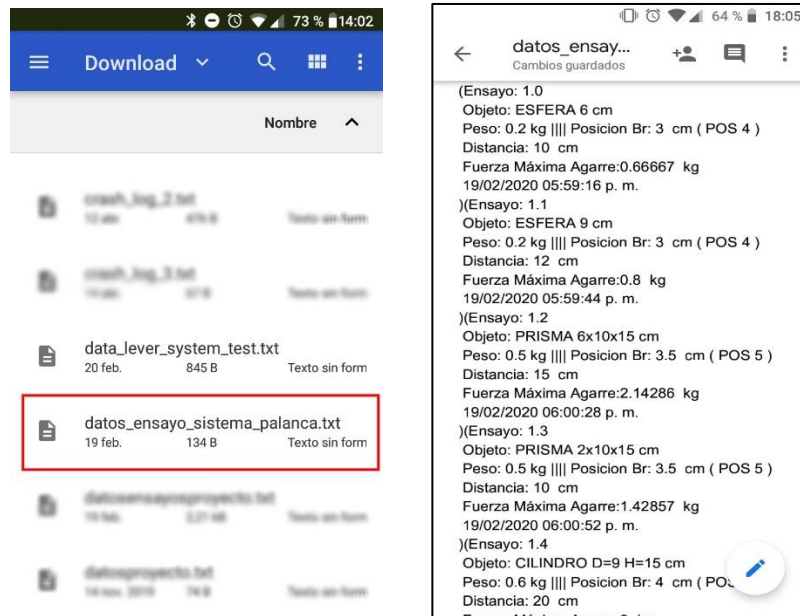


Figura 161. Guardar Datos App Dispositivo

### 5.3. INSTALACIÓN APP

La instalación de la aplicación se puede realizar de dos formas:

- Instalando la aplicación *MIT App Inventor 2*, desde esta aplicación se puede escanear el código QR que genera la página web de *App Inventor* de la App Sistema de Palanca. Una vez escaneado, se procede a su descarga e instalación. (Figura 162)

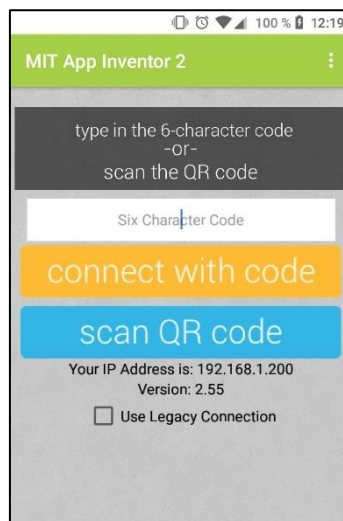


Figura 162. MIT App Inventor 2

- Instalando la aplicación directamente, desde el archivo de la aplicación en formato .apk. El archivo se obtiene desde Google Drive y se instala en el smartphone. (Figura 163)

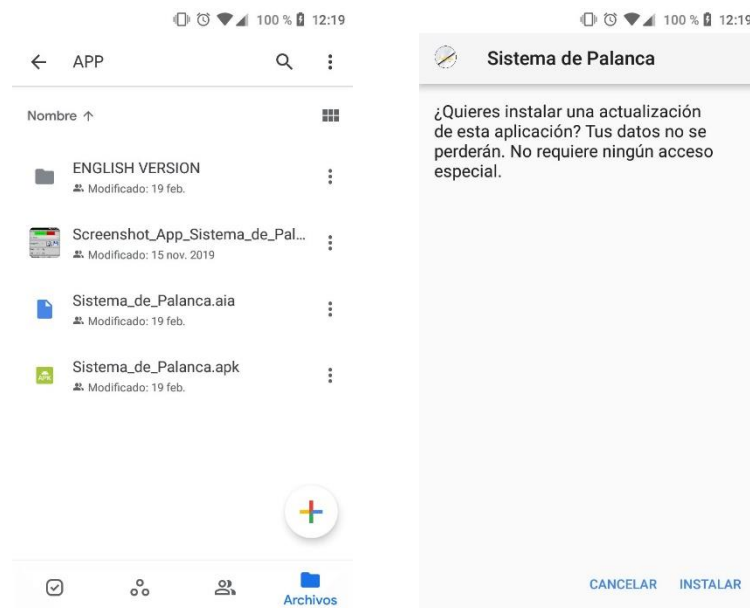


Figura 163. Instalación App Dispositivo

## 5.4. ENTORNO APP INVENTOR

En la pestaña principal de *App inventor*, la cual se conoce como pestaña de diseñador, se muestra la pantalla de la aplicación junto con todos los elementos que se observarán en el smartphone. Estos elementos, se configura su apariencia y distribución sobre el espacio que ocupa la pantalla, y, respecto a la función que realizan, se configura en la pestaña que corresponde a los bloques.

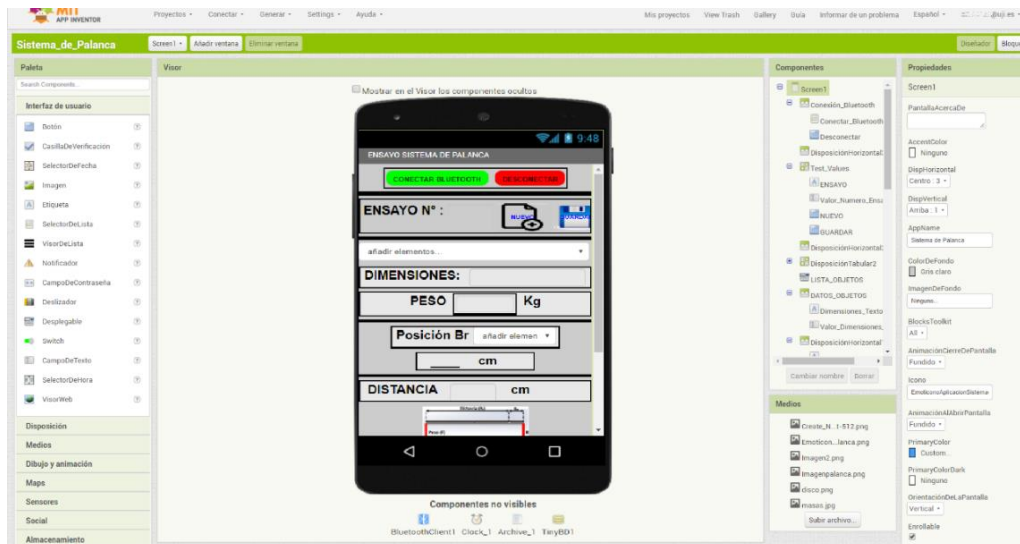


Figura 164. Entorno App Inventor

La pestaña de bloques muestra distintas piezas que se van insertando a modo de puzle para formar diferentes funciones y conexiones entre los elementos que se han seleccionado en la pestaña de diseñador.

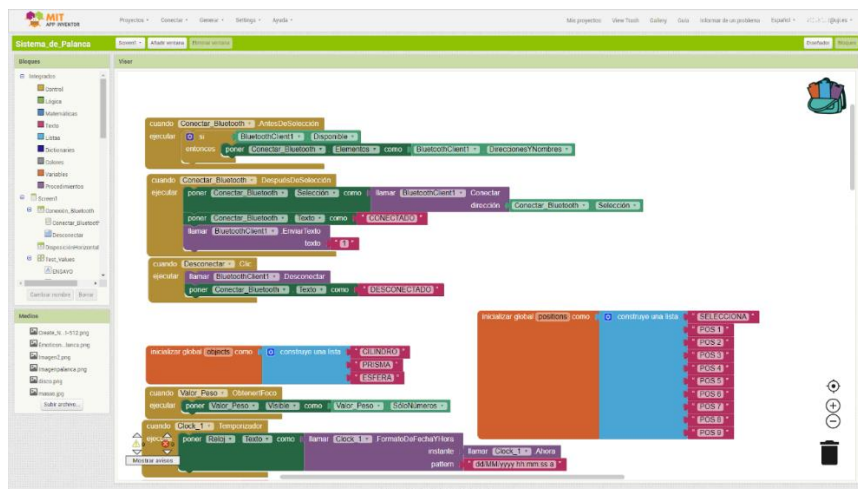


Figura 165. Diagrama de Bloques App Inventor

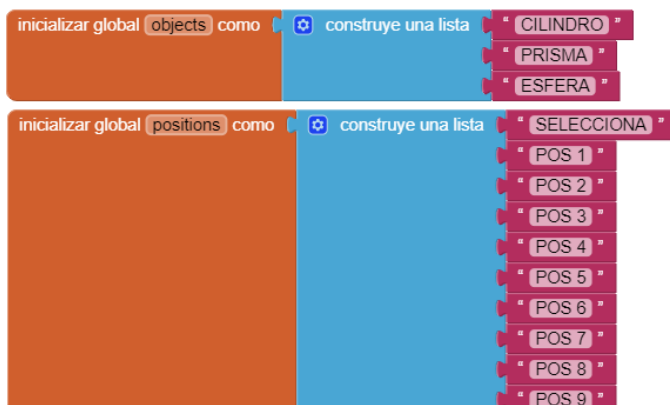
El menú de control debe de contener elementos que permitan tanto como para conectar el smartphone vía bluetooth, como para accionar el mecanismo, por lo que el primer conjunto de bloques corresponderá a las funciones que permitan conectar y establecer la comunicación con el módulo Bluetooth.

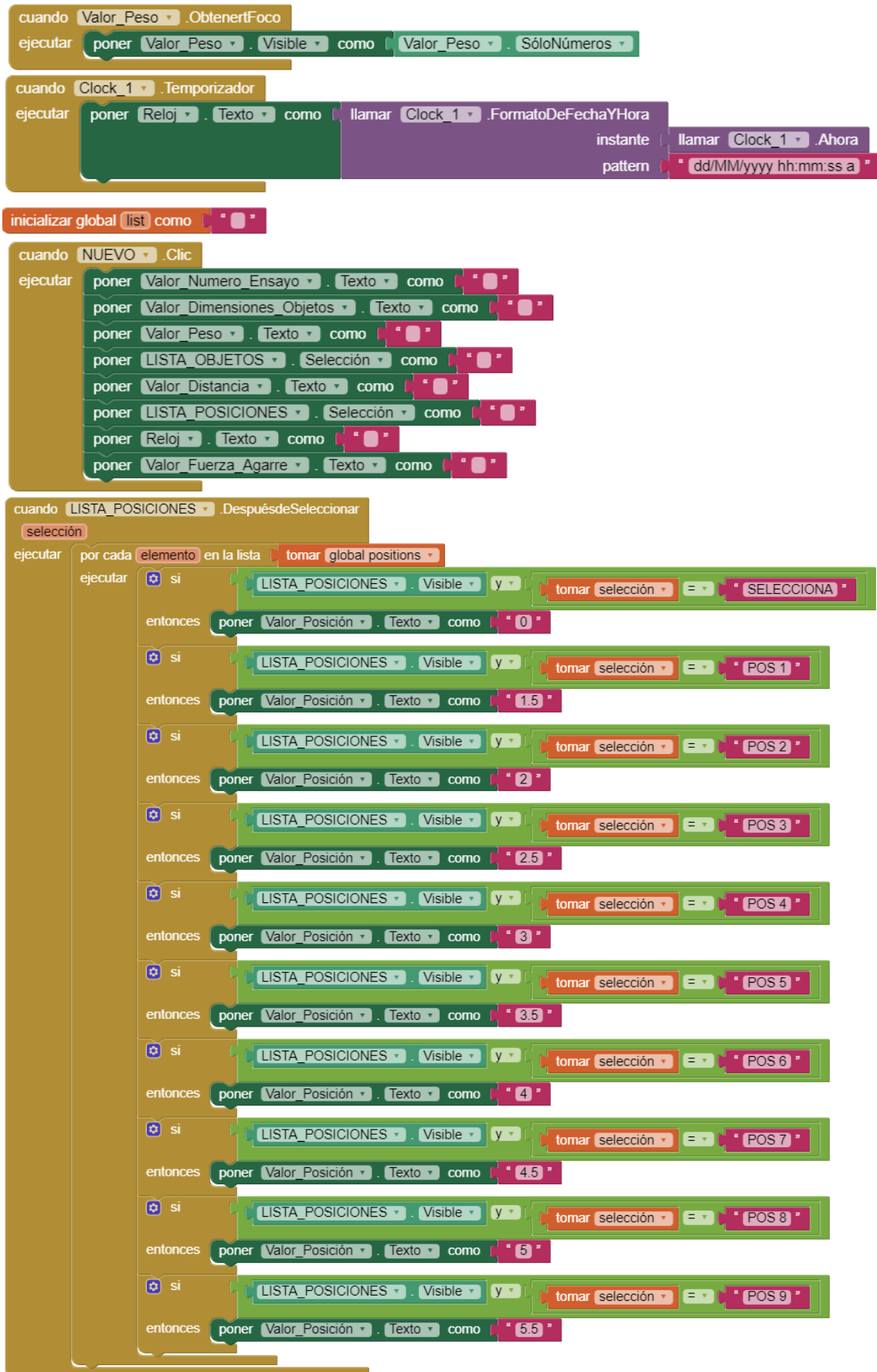


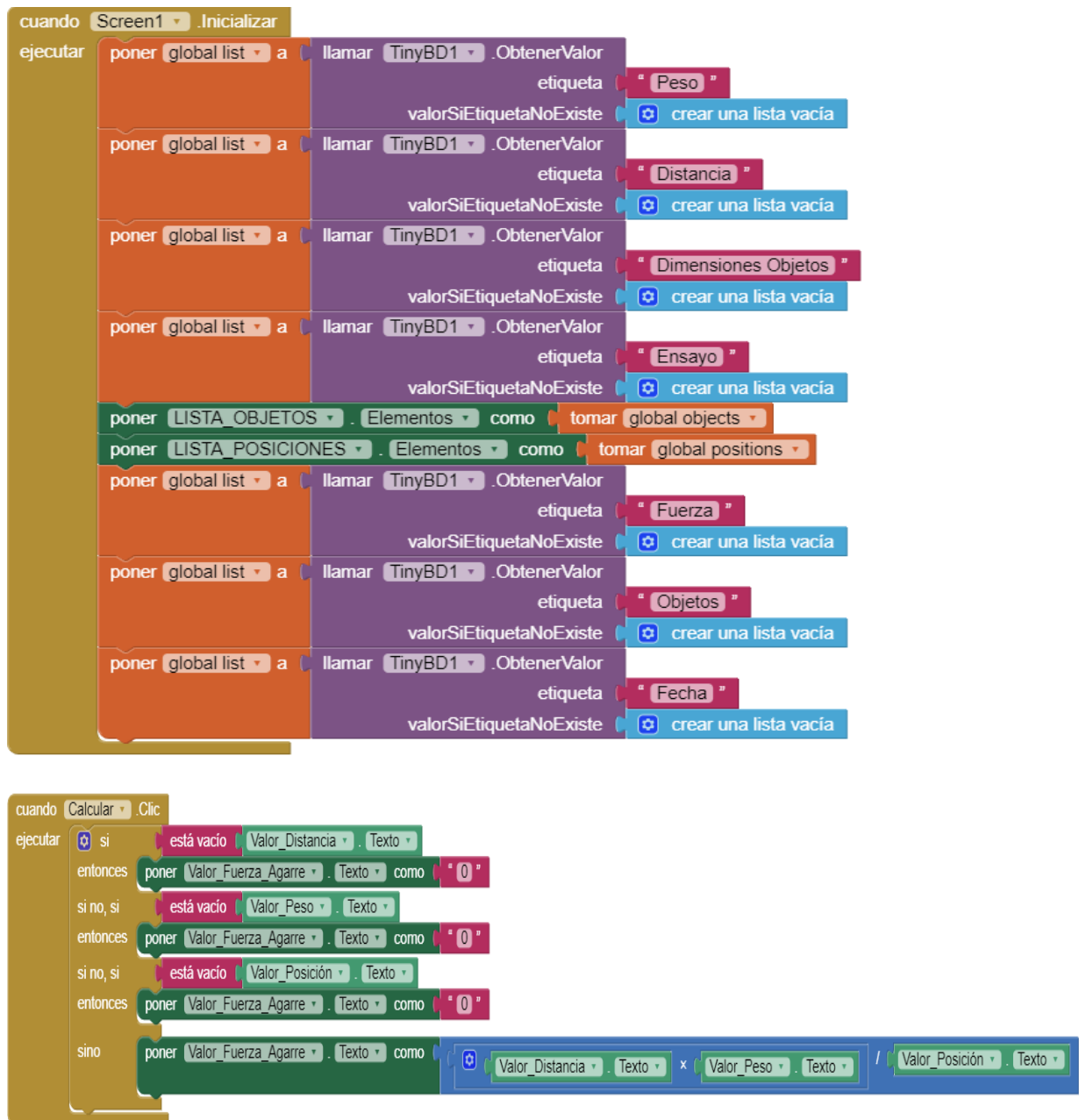
Figura 166. Bloques Conexión Bluetooth App Dispositivo

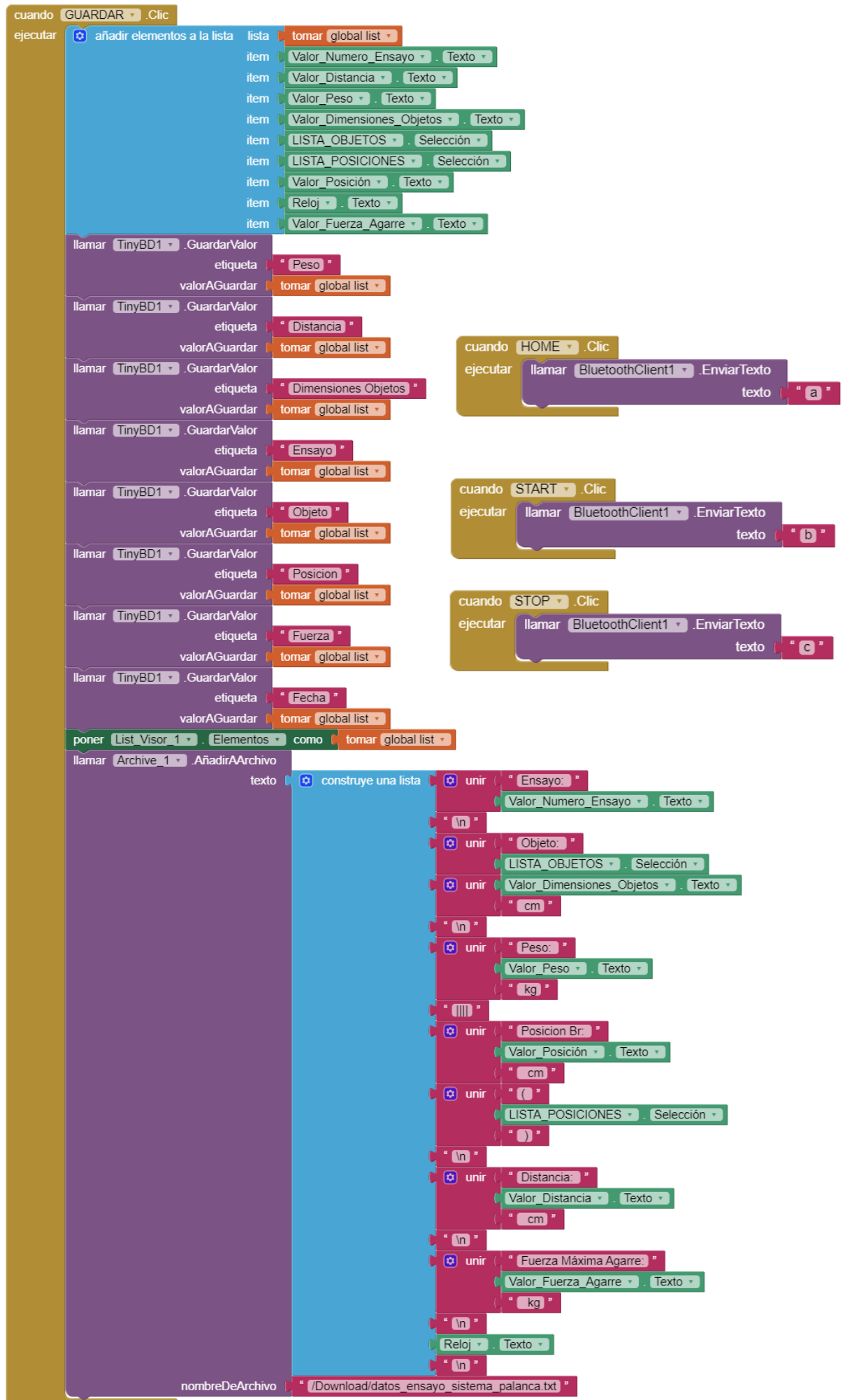
Cada uno de los elementos se agrupa en diferentes conexiones de bloques. Esto permite facilitar el manejo de la aplicación y, adquirir todas las prestaciones necesarias para almacenar datos durante su funcionamiento.

A continuación, se muestra el resto del código de la aplicación:











## 6. CONEXIONES CIRCUITO

### 6.1. CONEXIÓN RESISTENCIAS PULL UP Y PULL DOWN

El conexionado de las resistencias influye en la comunicación con la placa de Arduino cuando se programan instrucciones y, por ello, se va a proceder a explicar cómo se han configurado para este proyecto.

Las resistencias establecen como funcionalidad básica un estado lógico en un pin o entrada de un circuito lógico cuando se encuentra en estado de reposo. Hay dos términos en cuanto a la disposición de cómo se encuentra la resistencia: pull up y pull down.

La resistencia pull up establece un estado HIGH y las resistencias pull down establecen un estado LOW cuando el pin se encuentra en reposo. Ambas disposiciones evitan que se generen falsos estados que son producidos por el ruido que provocan los circuitos electrónicos.

A continuación, se observa como sitúan las resistencias según cada disposición:

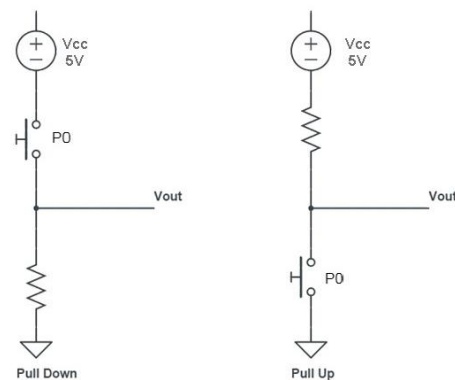


Figura 167. Resistencias Pull Down y Pull Up

Cuando se utiliza la configuración pull down, el circuito está en reposo y la caída de tensión en la resistencia es prácticamente 0V (LOW), por otro lado, cuando se pulsa P0, deja de pasar la corriente y se tiene una diferencia de potencial de 5V (HIGH).

Por el contrario, cuando se utiliza la configuración pull up, el circuito está en reposo, si P0 se encuentra sin pulsar, la caída de tensión es de 5V (HIGH), en cambio cuando se pulsa P0 se deriva toda la corriente a masa y la caída de tensión es 0V (LOW).

Las resistencias que se suelen utilizar para estos casos son de 10k, por ello se han utilizado para el circuito de este proyecto.

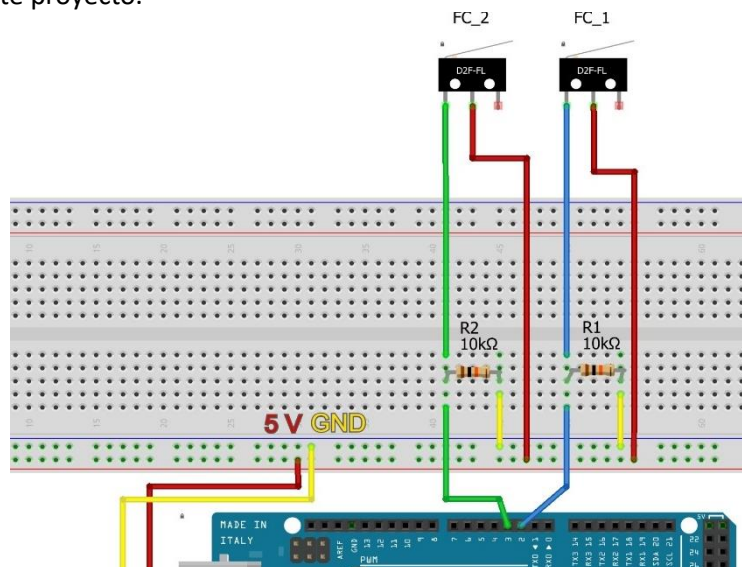
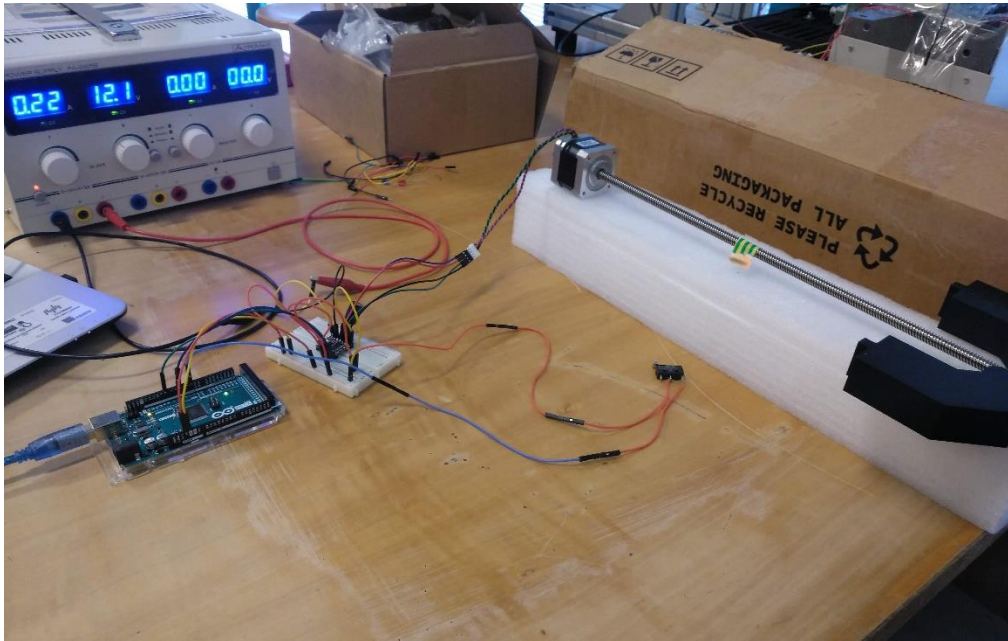


Figura 168. Conexiones Pull Down Finales de Carrera

## 6.2. MONTAJE DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO

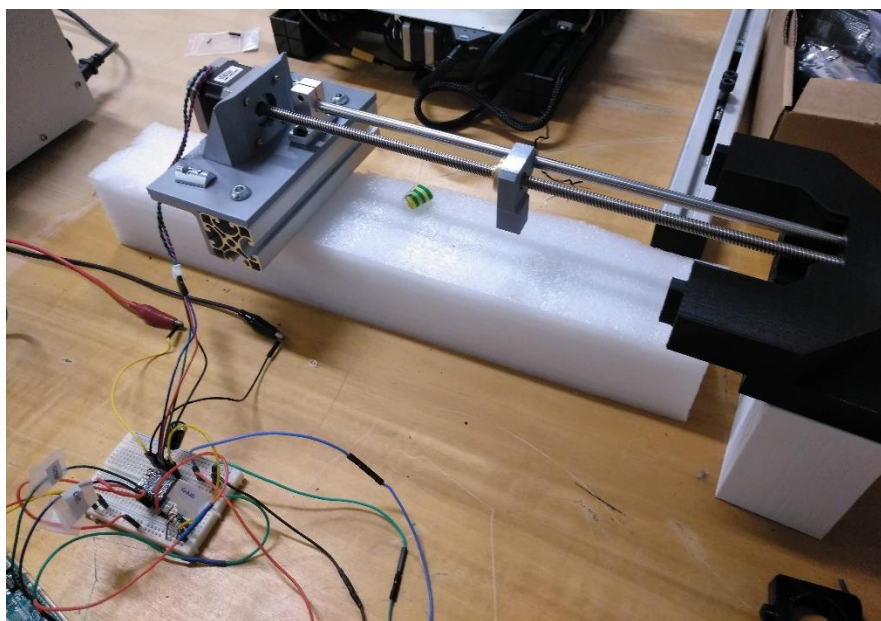
En el siguiente apartado, se va a mostrar cómo se ha realizado el desarrollo y montaje del circuito electrónico en el dispositivo. Las hojas de especificaciones de cada uno de los componentes se encontrarán en el apartado 8. de los *Anexos*.

En primer lugar, se han realizado pruebas de funcionamiento en una protoboard de los pasos del motor, por ello, se ha ajustado el driver DRV8825 a la intensidad adecuada y, se han realizado las conexiones correspondientes con la fuente de alimentación.



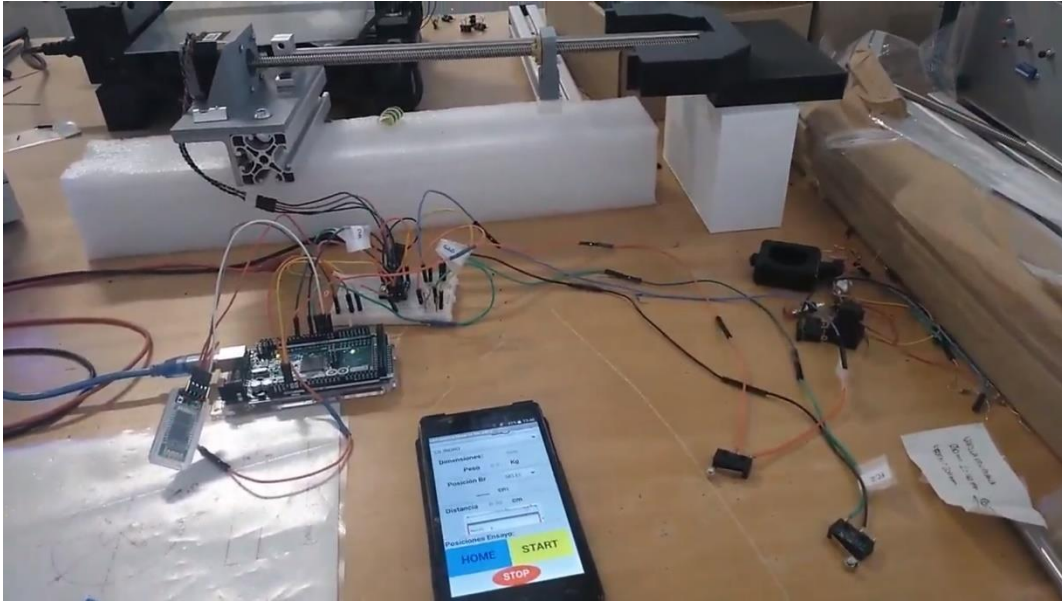
*Figura 169. Pruebas de funcionamiento - Montaje Circuito*

Seguidamente, se han realizado pruebas con dos finales de carrera para simular el funcionamiento del dispositivo. Para ello, se ha montado el soporte del husillo del motor y se colocado la guía junto la unión del cabezal cónico.



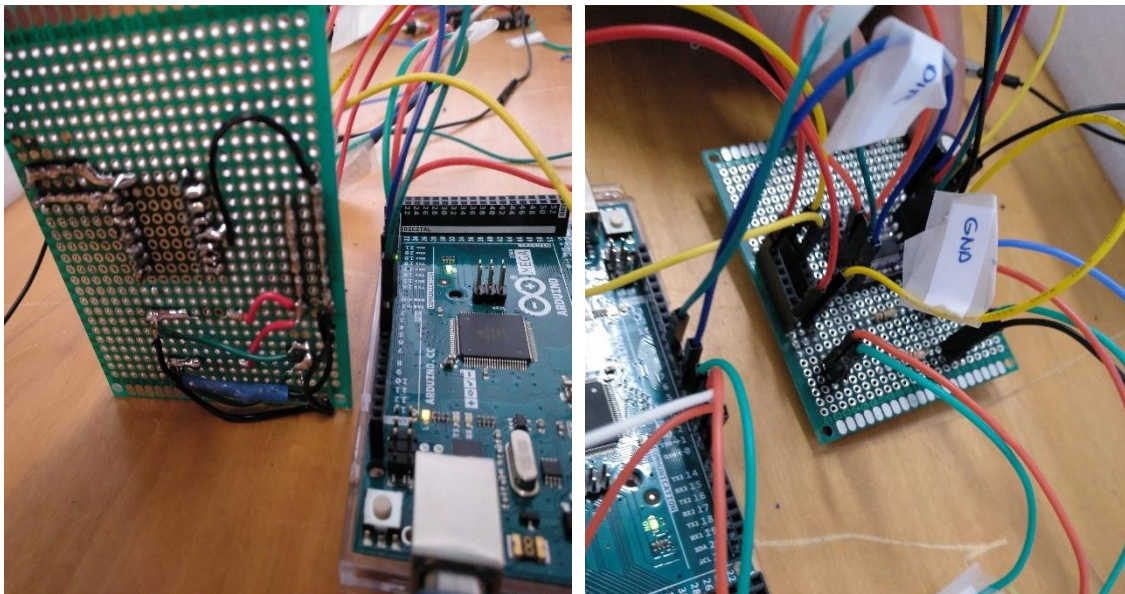
*Figura 170. Pruebas de funcionamiento con cabezal - Montaje Circuito*

Entre tanto, se han hecho pruebas de funcionamiento con el dispositivo bluetooth y la aplicación móvil junto con el posicionamiento de los finales de carrera.



*Figura 171. Pruebas de funcionamiento Dispositivo Bluetooth - Montaje Circuito*

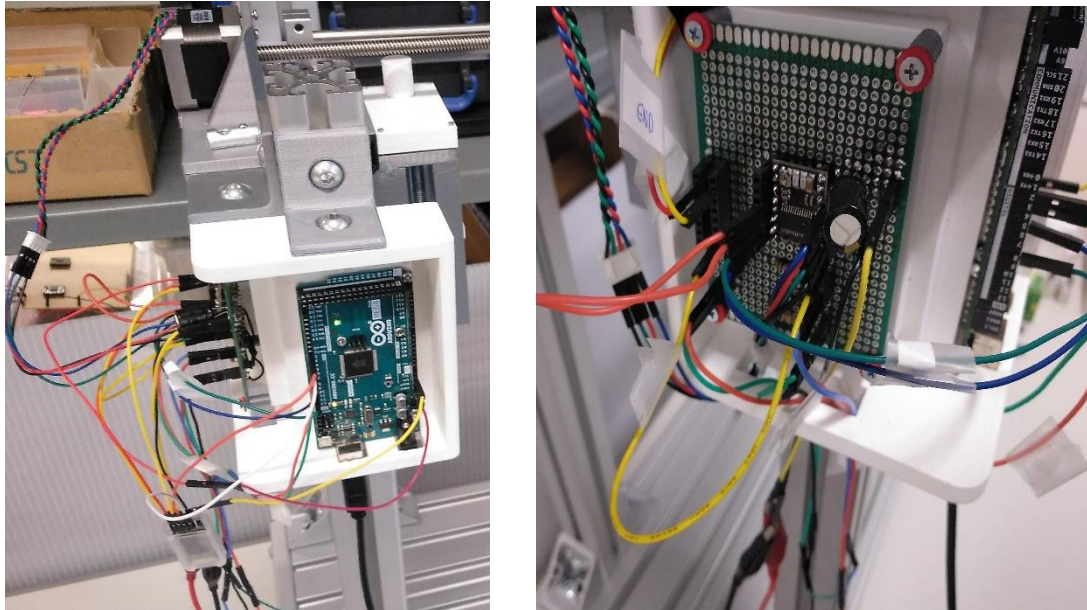
Posteriormente, se han fijado los componentes en una placa PCB con la ayuda de un soldador y estaño. Para facilitar el conexionado de los pines a tierra y al voltaje, se han soldado una fila de conectores hembra y, además, se ha protegido las uniones de cables con fundas termorretráctil.



*Figura 172. Conexionado Placa PCB - Montaje Circuito*

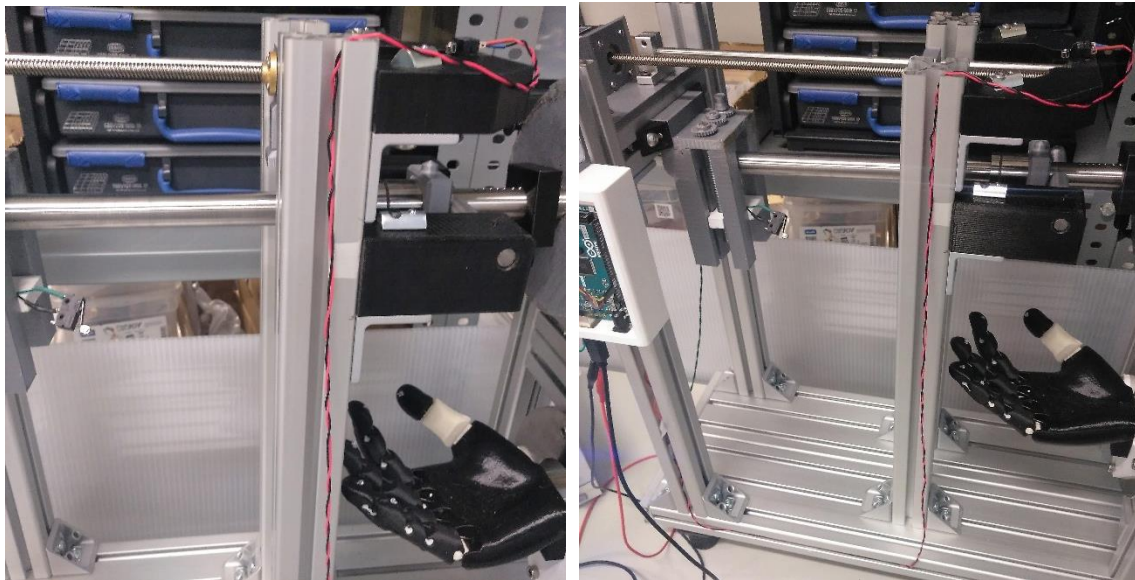


A continuación, se ha montado la placa PCB a la caja del circuito impresa en 3D junto el Arduino Mega. Los cables se han identificado con etiquetas de su correspondiente conexión y se han agrupado para evitar enredos.



*Figura 173. Caja Circuito - Montaje Circuito*

Finalmente, se han colocado los finales de carrera en el soporte del husillo y en el sistema de regulación de altura. Para ello, se han soldado los cables de cada uno de sus terminales junto fundas termorretráctiles y se ha fijado en su posición correspondiente.



*Figura 174. Resultado Final - Montaje Circuito*

## 7. INSTRUCCIONES DEL USO DEL DISPOSITIVO

El procedimiento para la medición de fuerzas de agarre, tiene una serie de pasos a seguir para que la ejecución de los ensayos sea correcta. Estos pasos, se explican a continuación para que cualquier persona pueda utilizar el dispositivo sin ningún inconveniente.

Primeramente, hay que considerar que según el tipo de agarre se debe ajustar la posición de la brida de anclaje junto con los sistemas de poleas, para orientar la mano en la dirección deseada. Por ello, se ajustará el sistema móvil de poleas para cuando sea necesario de su uso.

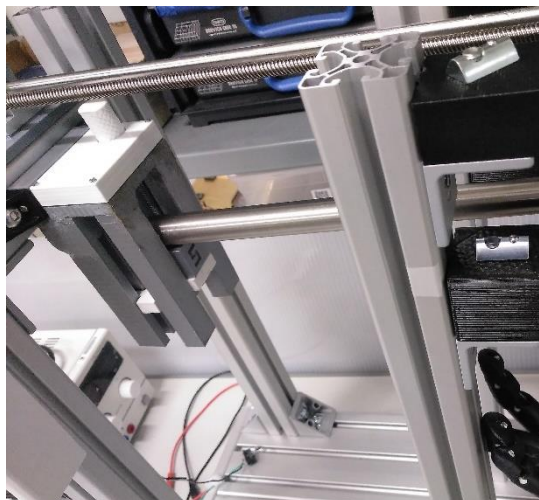
Los pasos a seguir se enumeran a continuación:

1. Se debe ajustar la posición de los cojinetes: el cojinete resistente se coloca en la posición que se seleccione y, el cojinete brazo, se ajustará a la posición de partida.



*Figura 175. Ajuste Posición Cojinetes*

2. Se ajusta la posición del contrapeso hasta que se observa que el sistema de palanca está en equilibrio. A la vez que se equilibra el sistema, se ajustará la elevación de la plataforma del sistema de regulación de altura, girando el pivote. Según la posición, la cual se haya seleccionado para el cojinete resistente, se colocará el bloque de posición sobre la plataforma y, se ajustará la altura hasta que esté en contacto con el tubo del sistema de palanca.



*Figura 176. Ajuste de altura con bloque de posición*

3. Con el sistema ajustado, se ajusta la posición de la mano artificial y se colocan los mosquetones para sujetar los pesos y el objeto que se vaya a utilizar.



*Figura 177. Cojinete con mosquetón de sujeción*

4. Se conectan el peso y el objeto con hilos de pescar a los mosquetones del sistema de palanca. Para ello, se debe sujetar el objeto en la mano artificial y añadir los pesos de arena en las uniones, las cuales tiran de las articulaciones de los dedos.
5. Con todas las indicaciones realizadas hasta este paso ya se puede encender la parte electrónica del dispositivo. Se conecta el Arduino vía USB al portátil y la fuente de alimentación.
6. Se conecta la aplicación del smartphone vía bluetooth con Arduino y se acciona el dispositivo hasta que el final de carrera contacte y, por tanto, finaliza el ensayo.
7. Finalmente, se mide la distancia recorrida respecto al punto de apoyo y se introducen los datos en la aplicación donde obtendremos el resultado de la fuerza máxima de agarre.

Observaciones:

- La electrónica del circuito debe comprobarse antes de su conexión para su correcto funcionamiento.
- La fuente de alimentación debe de estar sin voltaje, en los mandos reguladores cuando se conecte, y, se debe ajustar cuando se vaya a comenzar el ensayo.
- La conexión Bluetooth debe comprobarse antes de comenzar el ensayo.
- El hilo de pescar que une el objeto con el cojinete resistente debe de estar tenso para poder realizar las medidas correctamente.
- Debe comprobarse que el sistema está bien equilibrado cada vez que se realice un ensayo nuevo.
- La posición del cabezal cónico debe de estar en la posición de partida al inicio del ensayo.

## **8. HOJAS DE ESPECIFICACIONES**



## PLA Extrafill

### Description:

Fillamentum PLA Extrafill is a material for the FFF (also known as FDM) 3D printing technology.

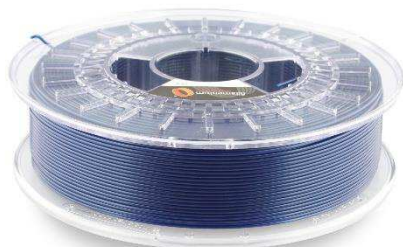
The advantage of this material is that it can be used in 3D printers easily, that it allows a high quality of printing even in tricky details and an excellent lamination of the printed object.

PLA filament is made of natural ingredients and is easily biodegradable by composting. It complies with the requirements for food contact.

The material may be used for production of electrical and electronic equipment. It doesn't contain the restricted substances.

Fillamentum guarantees high precision of filament dimensions within the tolerance of  $\pm 0,05$  mm, which is strictly controlled throughout the production.

Printing filaments reported on the marked under the trademark Fillamentum are produced in a wide variety of colours in accordance with the colour charts RAL and Pantone, and also in own unique colour ranges.



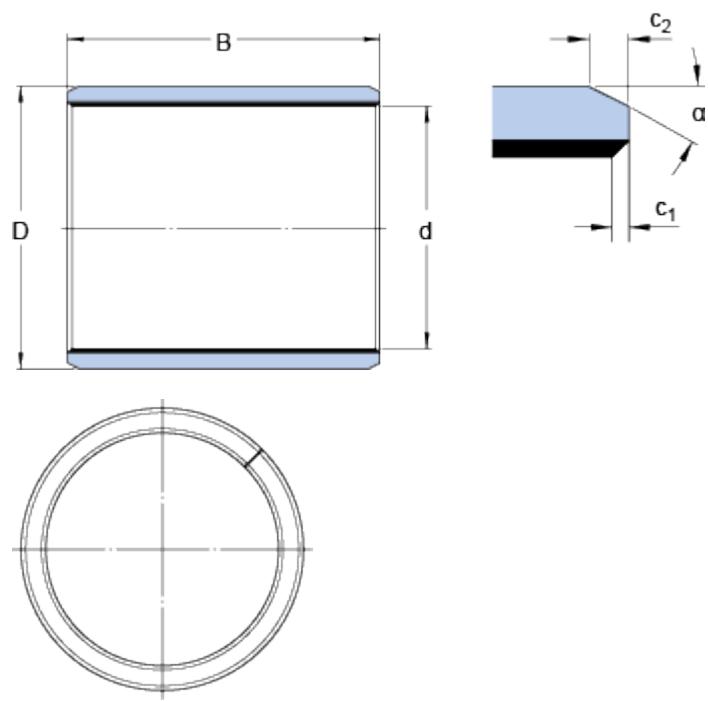
Physical properties	Typical Value	Test Method	Test Condition
Material density	1,24 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792	
Melt flow index	6 g/10 min	ASTM D1238	210 °C, 2,16 kg
Diameter tolerance	$\pm 0,05$ mm		
Weight	750 g of filament (+ 250 g spool)		
Mechanical properties	Typical Value	Test Method	Test Condition
Tensile strength	60 MPa	ASTM D882	at yield
	53 MPa	ASTM D882	at break
Elongation at break	6 %	ASTM D882	
Tensile modulus	3600 MPa	ASTM D882	
Flexural strength	83 MPa	ASTM D790	
Flexural modulus	3800 MPa	ASTM D790	
Izod impact strength	16 J/m	ASTM D256	23 °C, notched
Thermal properties	Typical Value	Test Method	Test Condition
Glass transition temperature	55-60 °C	ASTM D3418	
Heat distortion temperature	55 °C	ASTM E2092	0,45 MPa
Printing properties	Recommended	Notes	
Print temperature	190-210 °C	Recommended settings! It may differ according to the printer and the object. Try your own settings before printing.	
Hot pad	50-60 °C		
Bed adhesive	Magigoo		

Workability of 3D printing filament is at least 12 months from delivery.

The information was processed with the best knowledge of the manufacturer and it is for information only.

# PCM 101220 E

## Dimensiones



d	10	mm
D	12	mm
B	20	mm
c <sub>1</sub>	min. 0.1	mm
c <sub>1</sub>	max. 0.6	mm
c <sub>2</sub>	min. 0.2	mm
c <sub>2</sub>	max. 1	mm
α	±8 20	°

## Ajustes recomendados

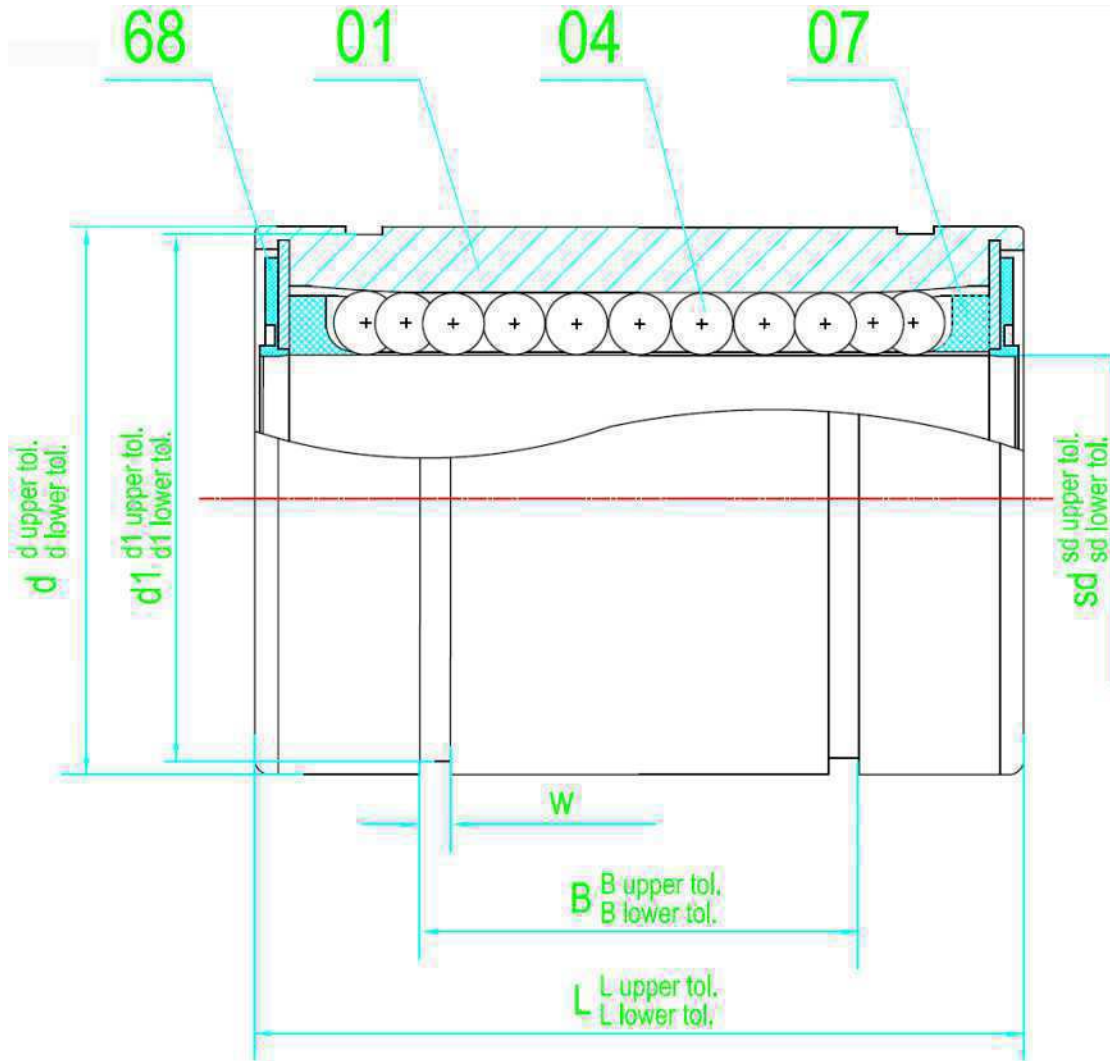
Tolerancia de eje	f7
Tolerancia del soporte	H7

## Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica, sentido radial	C	16	kN
Capacidad de carga estática básica, sentido radial	C <sub>0</sub>	50	kN
Factor de carga dinámica específica	K	80	N/mm <sup>2</sup>
Factor de carga estática específica	K <sub>0</sub>	250	N/mm <sup>2</sup>
Factor según el tipo de material y rodamiento	K <sub>M</sub>	480	
Velocidad admisible de deslizamiento	v	min. 0	m/s
Velocidad admisible de deslizamiento	v	max. 2	m/s
Coeficiente de fricción	μ	min. 0.03	
Coeficiente de fricción	μ	max. 0.25	

## Masa

Cojinete de fricción de masa	0.0051	kg
------------------------------	--------	----



# REFERENCE No: LM20-UU

Im series

Type: Seal

Ball circuit: 5.00

## WORKING INFORMATION

Radial Clearance (μm)

-9

Weight (g)

87

## DIMENSIONS (mm)

d 32<sup>0 -0.016</sup>

d1 30.5

w 1.6

B 30.5<sup>0 -0.2</sup>

L 42<sup>0 -0.20</sup>

sd 20.00<sup>0 -0.010</sup>

## INNER DESIGN

Part No.	Name	Material
04	Balls	AISI52100
01	Outer Ring	AISI52100
68	Seals	NBR

**ZON** Bearings are used and trusted across a wide range of market sectors

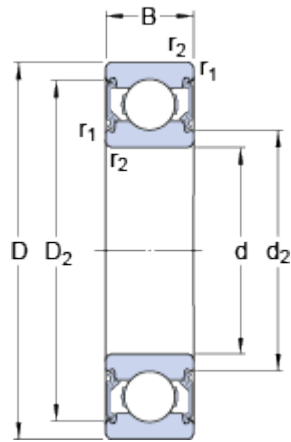


\* The information provided in this technical drawing is subject to our [disclaimer](#)

608-2RSH

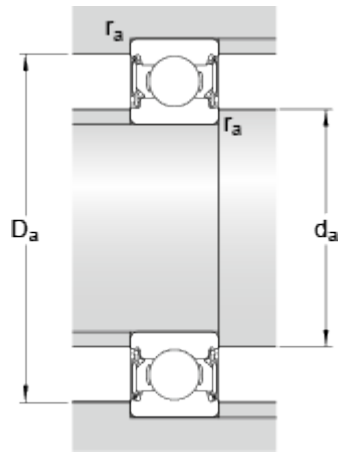
Producto popular  
SKF Explorer

Dimensiones



d	8	mm
D	22	mm
B	7	mm
d <sub>2</sub>	≈ 10.55	mm
D <sub>2</sub>	≈ 19.2	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 0.3	mm

Dimensiones de los resaltes



d <sub>a</sub>	min. 10	mm
d <sub>a</sub>	max. 10.5	mm
D <sub>a</sub>	max. 20	mm
r <sub>a</sub>	max. 0.3	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	3.45	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	1.37	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0.057	kN
Velocidad límite		22000	r/min
Factor de cálculo	k <sub>r</sub>	0.025	
Factor de cálculo	f <sub>0</sub>	12	

Masa

Rodamiento de masa	0.012	kg
--------------------	-------	----



# DRV8825 Stepper Motor Controller IC

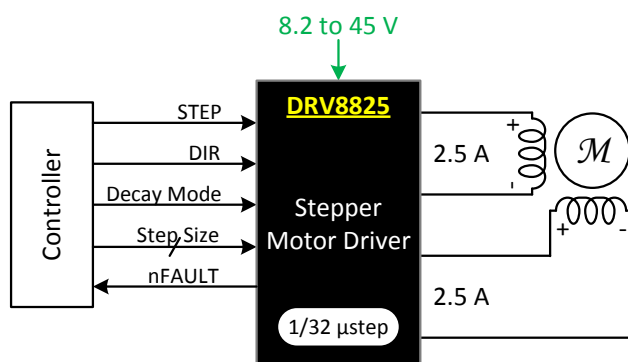
## 1 Features

- PWM Microstepping Stepper Motor Driver
  - Built-In Microstepping Indexer
  - Up to 1/32 Microstepping
- Multiple Decay Modes
  - Mixed Decay
  - Slow Decay
  - Fast Decay
- 8.2-V to 45-V Operating Supply Voltage Range
- 2.5-A Maximum Drive Current at 24 V and  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Simple STEP/DIR Interface
- Low Current Sleep Mode
- Built-In 3.3-V Reference Output
- Small Package and Footprint
- Protection Features
  - Overcurrent Protection (OCP)
  - Thermal Shutdown (TSD)
  - VM Undervoltage Lockout (UVLO)
  - Fault Condition Indication Pin (nFAULT)

## 2 Applications

- Automatic Teller Machines
- Money Handling Machines
- Video Security Cameras
- Printers
- Scanners
- Office Automation Machines
- Gaming Machines
- Factory Automation
- Robotics

## 4 Simplified Schematic



## 3 Description

The DRV8825 provides an integrated motor driver solution for printers, scanners, and other automated equipment applications. The device has two H-bridge drivers and a microstepping indexer, and is intended to drive a bipolar stepper motor. The output driver block consists of N-channel power MOSFET's configured as full H-bridges to drive the motor windings. The DRV8825 is capable of driving up to 2.5 A of current from each output (with proper heat sinking, at 24 V and 25°C).

A simple STEP/DIR interface allows easy interfacing to controller circuits. Mode pins allow for configuration of the motor in full-step up to 1/32-step modes. Decay mode is configurable so that slow decay, fast decay, or mixed decay can be used. A low-power sleep mode is provided which shuts down internal circuitry to achieve very low quiescent current draw. This sleep mode can be set using a dedicated nSLEEP pin.

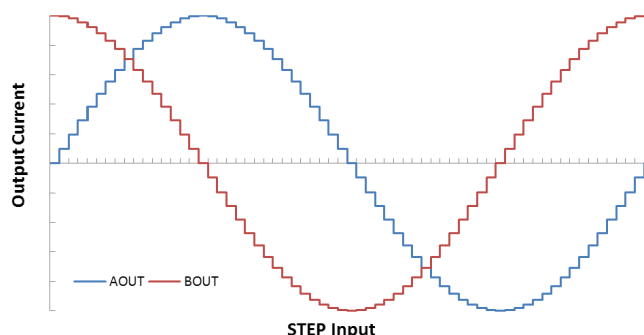
Internal shutdown functions are provided for overcurrent, short circuit, under voltage lockout and over temperature. Fault conditions are indicated via the nFAULT pin.

### Device Information<sup>(1)</sup>

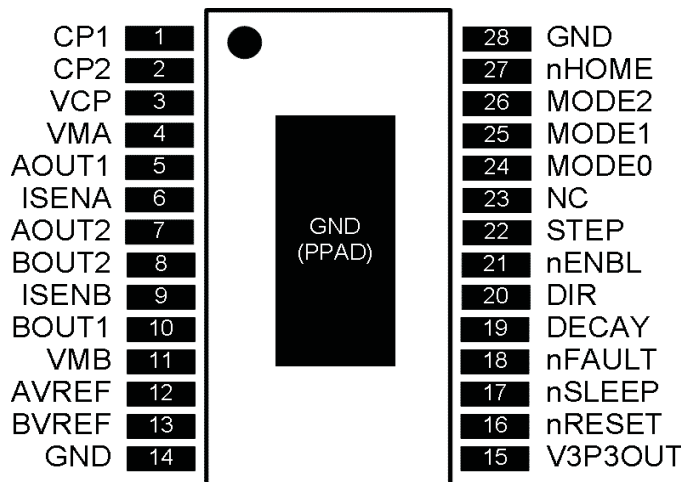
PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
DRV8825	HTSSOP (28)	9.70 mm × 6.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

### Microstepping Current Waveform



## 6 Pin Configuration and Functions



**Pin Functions**

PIN		I/O <sup>(1)</sup>	DESCRIPTION	EXTERNAL COMPONENTS OR CONNECTIONS
NAME	NO.			
POWER AND GROUND				
CP1	1	I/O	Charge pump flying capacitor	Connect a 0.01-μF 50-V capacitor between CP1 and CP2.
CP2	2	I/O	Charge pump flying capacitor	
GND	14, 28	—	Device ground	
VCP	3	I/O	High-side gate drive voltage	Connect a 0.1-μF 16-V ceramic capacitor and a 1-MΩ resistor to VM.
VMA	4	—	Bridge A power supply	Connect to motor supply (8.2 to 45 V). Both pins must be connected to the same supply, bypassed with a 0.1-μF capacitor to GND, and connected to appropriate bulk capacitance.
VMB	11	—	Bridge B power supply	
V3P3OUT	15	O	3.3-V regulator output	Bypass to GND with a 0.47-μF 6.3-V ceramic capacitor. Can be used to supply VREF.
CONTROL				
AVREF	12	I	Bridge A current set reference input	Reference voltage for winding current set. Normally AVREF and BVREF are connected to the same voltage. Can be connected to V3P3OUT.
BVREF	13	I	Bridge B current set reference input	
DECAY	19	I	Decay mode	Low = slow decay, open = mixed decay, high = fast decay. Internal pulldown and pullup.
DIR	20	I	Direction input	Level sets the direction of stepping. Internal pulldown.
MODE0	24	I	Microstep mode 0	MODE0 through MODE2 set the step mode - full, 1/2, 1/4, 1/8/1/16, or 1/32 step. Internal pulldown.
MODE1	25	I	Microstep mode 1	
MODE2	26	I	Microstep mode 2	
NC	23	—	No connect	Leave this pin unconnected.
nENBL	21	I	Enable input	Logic high to disable device outputs and indexer operation, logic low to enable. Internal pulldown.
nRESET	16	I	Reset input	Active-low reset input initializes the indexer logic and disables the H-bridge outputs. Internal pulldown.
nSLEEP	17	I	Sleep mode input	Logic high to enable device, logic low to enter low-power sleep mode. Internal pulldown.
STEP	22	I	Step input	Rising edge causes the indexer to move one step. Internal pulldown.
STATUS				
nFAULT	18	OD	Fault	Logic low when in fault condition (overtemp, overcurrent)

(1) Directions: I = input, O = output, OD = open-drain output, IO = input/output

## Pin Functions (continued)

PIN		I/O <sup>(1)</sup>	DESCRIPTION	EXTERNAL COMPONENTS OR CONNECTIONS
NAME	NO.			
nHOME	27	OD	Home position	Logic low when at home state of step table
<b>OUTPUT</b>				
AOUT1	5	O	Bridge A output 1	Connect to bipolar stepper motor winding A. Positive current is AOUT1 → AOUT2
AOUT2	7	O	Bridge A output 2	
BOUT1	10	O	Bridge B output 1	Connect to bipolar stepper motor winding B. Positive current is BOUT1 → BOUT2
BOUT2	8	O	Bridge B output 2	
ISENA	6	I/O	Bridge A ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge A.
ISENB	9	I/O	Bridge B ground / Isense	Connect to current sense resistor for bridge B.

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)</sup>

		MIN	MAX	UNIT
V <sub>(VMx)</sub>	Power supply voltage	−0.3	47	V
	Power supply ramp rate		1	V/μs
	Digital pin voltage	−0.5	7	V
V <sub>(xVREF)</sub>	Input voltage	−0.3	4	V
	ISENSEx pin voltage <sup>(3)</sup>	−0.8	0.8	V
	Peak motor drive output current, t < 1 μs	Internally limited		A
	Continuous motor drive output current <sup>(4)</sup>	0	2.5	A
	Continuous total power dissipation	See <a href="#">Thermal Information</a>		
T <sub>J</sub>	Operating junction temperature range	−40	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltage values are with respect to network ground terminal.
- (3) Transients of ±1 V for less than 25 ns are acceptable
- (4) Power dissipation and thermal limits must be observed.

### 7.2 Handling Ratings

			MIN	MAX	UNIT
T <sub>stg</sub>	Storage temperature range		−60	150	°C
V <sub>(ESD)</sub>	Electrostatic discharge	Human body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001, all pins <sup>(1)</sup>	−2000	2000	V
		Charged device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101, all pins <sup>(2)</sup>	−500	500	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250-V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

### 7.3 Recommended Operating Conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V <sub>(VMx)</sub>	Motor power supply voltage range <sup>(1)</sup>	8.2		45	V
V <sub>(VREF)</sub>	VREF input voltage <sup>(2)</sup>	1		3.5	V
I <sub>V3P3</sub>	V3P3OUT load current	0		1	mA

- (1) All V<sub>M</sub> pins must be connected to the same supply voltage.
- (2) Operational at VREF between 0 to 1 V, but accuracy is degraded.



## 7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC <sup>(1)</sup>		DRV8825	UNIT
		PWP	
		28 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance <sup>(2)</sup>	31.6	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance <sup>(3)</sup>	15.9	
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance <sup>(4)</sup>	5.6	
$\Psi_{JT}$	Junction-to-top characterization parameter <sup>(5)</sup>	0.2	
$\Psi_{JB}$	Junction-to-board characterization parameter <sup>(6)</sup>	5.5	
$R_{\theta JC(bot)}$	Junction-to-case (bottom) thermal resistance <sup>(7)</sup>	1.4	

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, [SPRA953](#).

(2) The junction-to-ambient thermal resistance under natural convection is obtained in a simulation on a JEDEC-standard, high-K board, as specified in JESD51-7, in an environment described in JESD51-2a.

(3) The junction-to-case (top) thermal resistance is obtained by simulating a cold plate test on the package top. No specific JEDEC-standard test exists, but a close description can be found in the ANSI SEMI standard G30-88.

(4) The junction-to-board thermal resistance is obtained by simulating in an environment with a ring cold plate fixture to control the PCB temperature, as described in JESD51-8.

(5) The junction-to-top characterization parameter,  $\Psi_{JT}$ , estimates the junction temperature of a device in a real system and is extracted from the simulation data for obtaining  $\theta_{JA}$ , using a procedure described in JESD51-2a (sections 6 and 7).

(6) The junction-to-board characterization parameter,  $\Psi_{JB}$ , estimates the junction temperature of a device in a real system and is extracted from the simulation data for obtaining  $\theta_{JA}$ , using a procedure described in JESD51-2a (sections 6 and 7).

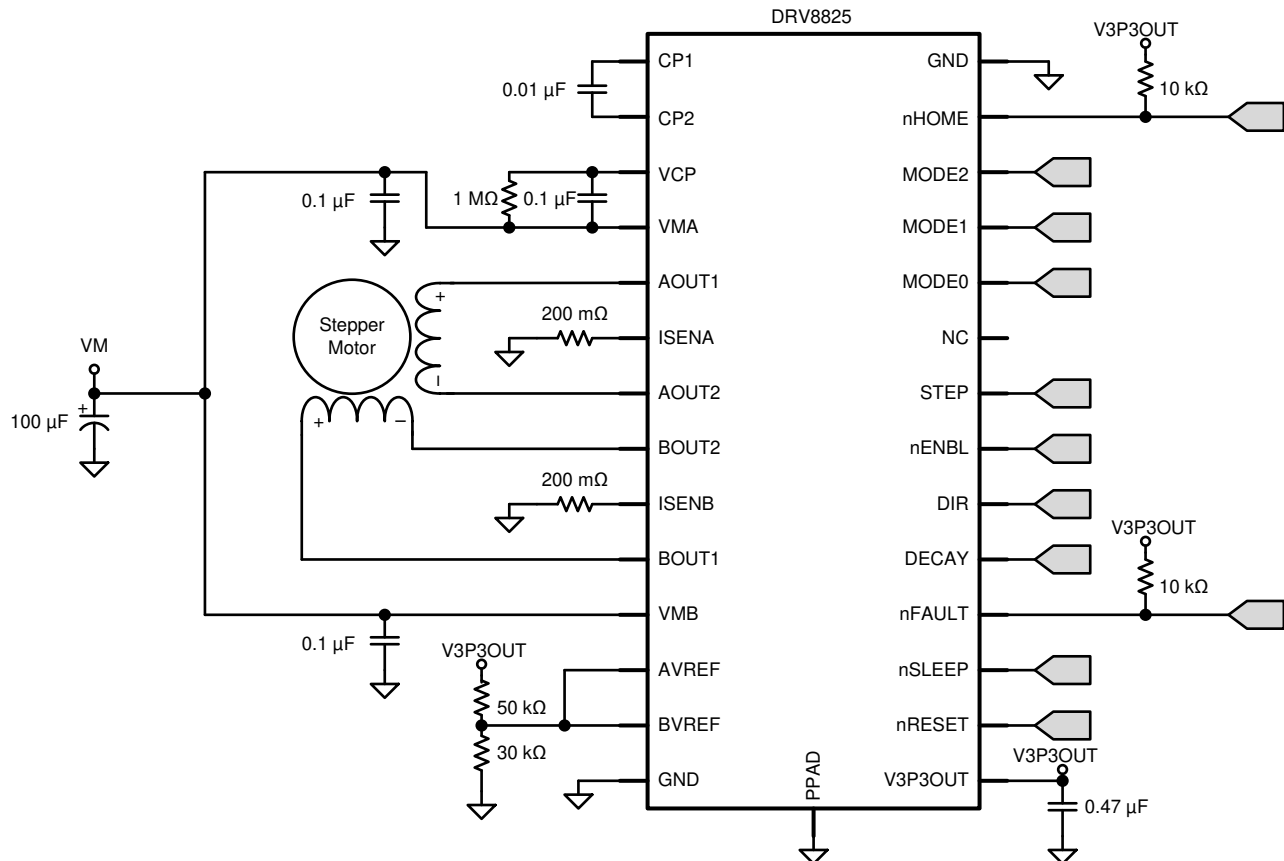
(7) The junction-to-case (bottom) thermal resistance is obtained by simulating a cold plate test on the exposed (power) pad. No specific JEDEC standard test exists, but a close description can be found in the ANSI SEMI standard G30-88.

## 9 Application and Implementation

### 9.1 Application Information

The DRV8825 is used in bipolar stepper control. The microstepping motor driver provides additional precision and a smooth rotation from the stepper motor. The following design is a common application of the DRV8825.

### 9.2 Typical Application



#### 9.2.1 Design Requirements

Design Parameter	Reference	Example Value
Supply Voltage	VM	24 V
Motor Winding Resistance	RL	3.9 Ω
Motor Winding Inductance	IL	2.9 mH
Motor Full Step Angle	$\theta_{step}$	1.8°/step
Target Microstepping Level	nm	8 µsteps per step
Target Motor Speed	v	120 rpm
Target Full-Scale Current	IFS	1.25 A

#### 9.2.2 Detailed Design Procedure

##### 9.2.2.1 Stepper Motor Speed

The first step in configuring the DRV8825 requires the desired motor speed and microstepping level. If the target application requires a constant speed, then a square wave with frequency  $f_{step}$  must be applied to the STEP pin.

If the target motor startup speed is too high, the motor will not spin. Make sure that the motor can support the target speed or implement an acceleration profile to bring the motor up to speed.

For a desired motor speed ( $v$ ), microstepping level ( $n_m$ ), and motor full step angle ( $\theta_{\text{step}}$ ),

$$f_{\text{step}} (\mu\text{steps} / \text{second}) = \frac{v \left( \frac{\text{rotations}}{\text{minute}} \right) \times 360 \left( \frac{^\circ}{\text{rotation}} \right) \times n_m \left( \frac{\mu\text{steps}}{\text{step}} \right)}{60 \left( \frac{\text{seconds}}{\text{minute}} \right) \times \theta_{\text{step}} \left( \frac{^\circ}{\text{step}} \right)} \quad (2)$$

$$f_{\text{step}} (\mu\text{steps} / \text{second}) = \frac{120 \left( \frac{\text{rotations}}{\text{minute}} \right) \times 360 \left( \frac{^\circ}{\text{rotation}} \right) \times 8 \left( \frac{\mu\text{steps}}{\text{step}} \right)}{60 \left( \frac{\text{seconds}}{\text{minute}} \right) \times 1.8 \left( \frac{^\circ}{\text{step}} \right)} \quad (3)$$

$\theta_{\text{step}}$  can be found in the stepper motor data sheet or written on the motor itself.

For the DRV8825, the microstepping level is set by the MODE pins and can be any of the settings in [Table 1](#). Higher microstepping will mean a smoother motor motion and less audible noise, but will increase switching losses and require a higher  $f_{\text{step}}$  to achieve the same motor speed.

### 9.2.2.2 Current Regulation

In a stepper motor, the set full-scale current ( $I_{\text{FS}}$ ) is the maximum current driven through either winding. This quantity depends on the xVREF analog voltage and the sense resistor value ( $R_{\text{SENSE}}$ ). During stepping,  $I_{\text{FS}}$  defines the current chopping threshold ( $I_{\text{TRIP}}$ ) for the maximum current step. The gain of DRV8825 is set for 5 V/V.

$$I_{\text{FS}} (\text{A}) = \frac{x\text{VREF} (\text{V})}{A_v \times R_{\text{SENSE}} (\Omega)} = \frac{x\text{VREF} (\text{V})}{5 \times R_{\text{SENSE}} (\Omega)} \quad (4)$$

To achieve  $I_{\text{FS}} = 1.25 \text{ A}$  with  $R_{\text{SENSE}}$  of  $0.2 \Omega$ , xVREF should be 1.25 V.

### 9.2.2.3 Decay Modes

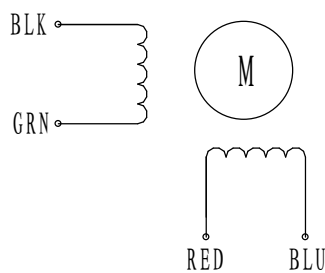
The DRV8825 supports three different decay modes: slow decay, fast decay, and mixed decay. The current through the motor windings is regulated using a fixed-frequency PWM scheme. This means that after any drive phase, when a motor winding current has hit the current chopping threshold ( $I_{\text{TRIP}}$ ), the DRV8825 will place the winding in one of the three decay modes until the PWM cycle has expired. Afterward, a new drive phase starts.

The blanking time,  $t_{\text{BLANK}}$ , defines the minimum drive time for the current chopping.  $I_{\text{TRIP}}$  is ignored during  $t_{\text{BLANK}}$ , so the winding current may overshoot the trip level.

# HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

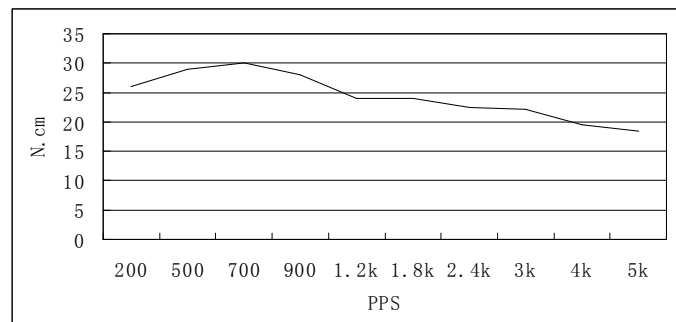
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	2.8
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current, 2 phase on)	Rated Current (A)	1.68
Ambient Temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase ( $\pm 10\%$ $\Omega$ )	1.65
Number of Phase	2	Inductance Per Phase ( $\pm 20\%$ mH)	3.2
Insulation Resistance (M $\Omega$ )	100 Min (500VDC)	Holding torque (N.cm)	36
Insulation Class	Class B	Detent Torque (N.cm)	150
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Torque (N.cm)	54
Max.axial force (N)	10	Weight (kg)	0.28

## Wiring Diagram :



## PULL out turque curve :

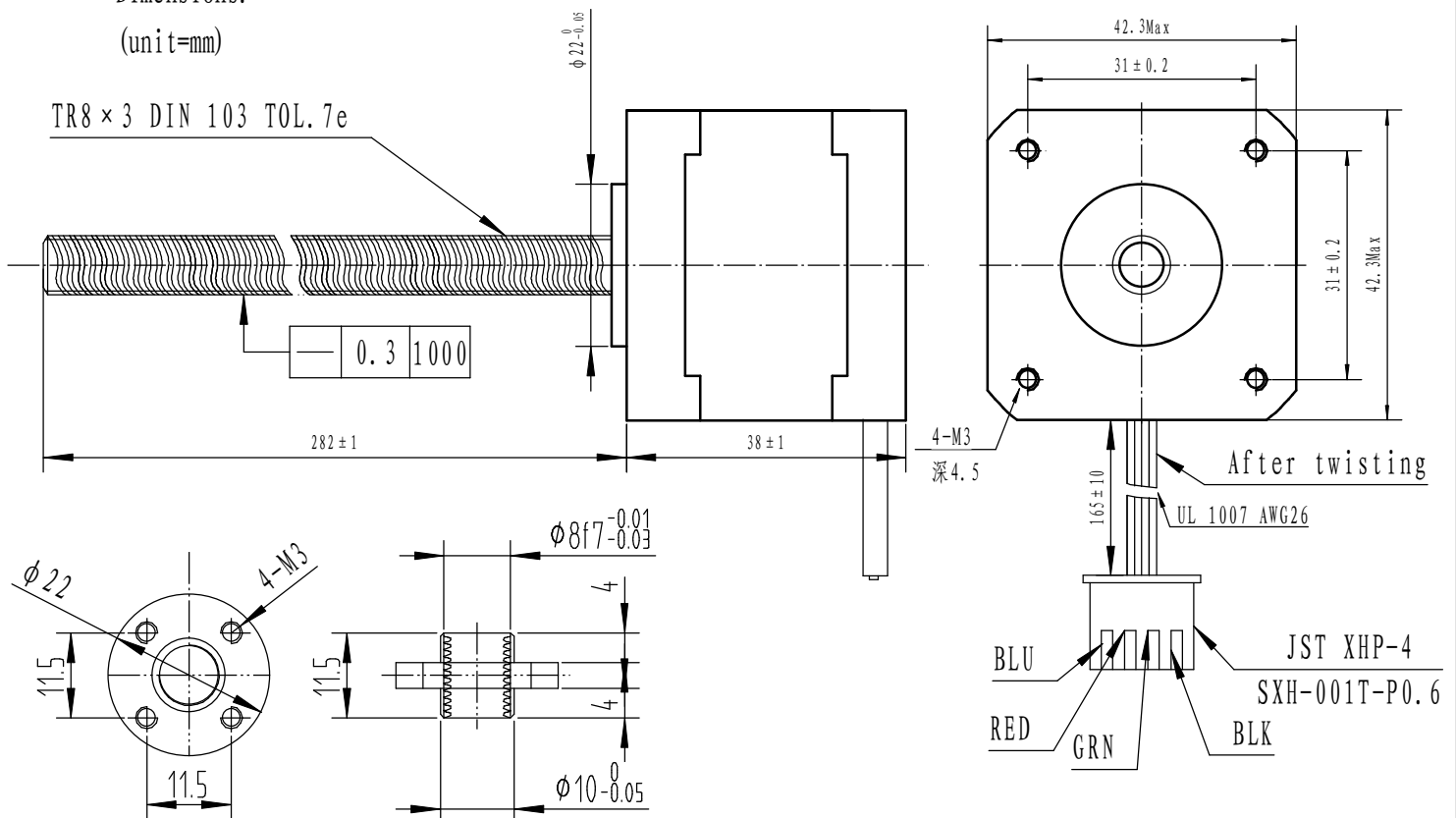
VOLTAGE: 24VDC CONSTANT CURRENT : 1.68A HALF STEP



Dimensions:

(unit=mm)

TR8×3 DIN 103 TOL.7e



					SY42STH38-1684A	TECHNICAL CONDITIONS
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE		
DRAW	2013/04/23				CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	063038000
CHECK						
APPROVE						

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

## ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

<b>1. CONDICIONES GENERALES .....</b>	<b>144</b>
1.1. OBJETO .....	144
1.2. DOCUMENTACIÓN PARA DEFINIR EL PROYECTO .....	144
1.3. CONDICIONES FACULTATIVAS .....	144
1.4. CONDICIONES GENERALES DE UTILIZACIÓN .....	144
1.5. NORMATIVA .....	145
<b>2. CONDICIONES PARTICULARES.....</b>	<b>145</b>
2.1. CONDICIONES DE EJECUCIÓN Y MONTAJE .....	145
2.2. CONDICIONES DE SOFTWARE.....	145
<b>3. CONDICIONES DE SUMINISTRO .....</b>	<b>146</b>
3.1. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES .....	146
3.2. ESPECIFICACIONES DE FABRICACIÓN Y OBTENCIÓN DE PIEZAS.....	146
3.3. ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN .....	147
<b>4. CONSEJOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO .....</b>	<b>148</b>

## **1. CONDICIONES GENERALES**

### **1.1. OBJETO**

El objetivo del siguiente Pliego de Condiciones es definir los criterios y exponer las especificaciones para la correcta ejecución del proyecto, que deberán respetar todas las partes implicadas tanto la empresa contratante como el encargado del desarrollo del proyecto.

### **1.2. DOCUMENTACIÓN PARA DEFINIR EL PROYECTO**

Los siguientes documentos son los que establecen las especificaciones del proyecto, siendo enumerados por orden de prioridad en cuanto al valor de las mismas especificaciones:

1. Pliego de Condiciones
2. El resto de documentación: Memoria, Anexos, Presupuesto y Planos.

### **1.3. CONDICIONES FACULTATIVAS**

Las condiciones facultativas son aquellas que incluyen las relaciones entre la contrata y el director del proyecto. Para llevar a cabo este Trabajo de Final de Grado se ha precisado de las siguientes personas físicas o jurídicas:

1. El proyectista: es el autor del TFG, se encarga de elaborar, desarrollar y gestionar el proyecto, además, elaborar un prototipo funcional para la plataforma de ensayos.
2. El promotor: es aquel que obtiene las funciones del proyectista y los derechos sobre la utilización del proyecto, para este caso en concreto, se trata del grupo de investigación de Biomecánica y Ergonomía de la Universidad Jaume I.

### **1.4. CONDICIONES GENERALES DE UTILIZACIÓN**

El grupo de investigación de Biomecánica y Ergonomía de la UJI se hará cargo de la propiedad intelectual de los componentes que forman parte del dispositivo de ensayos que se ha desarrollado para el presente proyecto y podrá hacer modificaciones o mejoras según se precise de ello.

Por consiguiente, los ficheros, software y aplicación desarrollada para el manejo y control del dispositivo, excepto las librerías que pertenecen a terceros, asimismo los diseños originales del dispositivo junto con todos los documentos que forman parte del resultado final del proyecto.



## **1.5. NORMATIVA**

La normativa aplicable que se considera necesaria para este proyecto es la siguiente:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero para la Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, de Seguridad en el Lugar de Trabajo.
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Además, todos los elementos se tratan desde el punto de vista de diseño de acuerdo a las normas UNE, DIN, ISO, y cualquier otra norma que se utilice y sea equivalente a las indicadas deberá reflejarse en los documentos.

## **2. CONDICIONES PARTICULARES**

### **2.1. CONDICIONES DE EJECUCIÓN Y MONTAJE**

- Respecto a la construcción del dispositivo, como se menciona en la normativa aplicable, es imprescindible el uso de protecciones individuales específicas para cada tipo de trabajo.
- El técnico encargado de realizar operaciones de torneado o mecanizado de los elementos del dispositivo debe poseer la formación pertinente.
- La plataforma de ensayos debe de estar ubicada en una superficie nivelada y con la suficiente consistencia para asegurar su correcta función.
- El uso del soldador para elaborar el circuito en la placa PCB debe de hacerse con precaución contra posibles quemaduras.
- Los componentes del circuito electrónico no deben forzarse al insertarse en las ranuras. Deben de estar aislados de cualquier contacto con líquidos para evitar posibles cortocircuitos.
- El uso de los equipos de laboratorio como la fuente de alimentación debe ser accesible solo para los usuarios que estén autorizados.
- La fuente de alimentación debe estar ubicada en un lugar donde no presente alta temperatura o humedad.
- La fuente de alimentación no debe desenchufarse cuando el dispositivo esté en funcionamiento.
- Al realizar el montaje del dispositivo, se debe asegurar la respectiva posición de los elementos, así como la palanca, cojinetes y contrapesos, antes de su puesta en equilibrio para evitar posibles caídas o roturas de piezas.

### **2.2. CONDICIONES DE SOFTWARE**

Respecto a las especificaciones de software, hay que considerar las diversas versiones de los programas utilizados para el desarrollo del presente proyecto.

- La versión del SolidWorks utilizada es la 2018.
- La aplicación de App Inventor funciona en cualquier smartphone con sistema Android y la plataforma online puede utilizarse con Google Chrome 4.0 o superior.
- El sistema operativo del PC a utilizar es el Windows 7 o superior, cuya memoria RAM debe ser mínimo de 8 GB.

### **3. CONDICIONES DE SUMINISTRO**

#### **3.1. ESPECIFICACIÓN DE MATERIALES**

A continuación, se indican las consideraciones que deben cumplir los materiales y componentes que forman parte del dispositivo:

- Todos los materiales deben de tener un mínimo de calidad para que pueden estar en condiciones de utilización.
- El cojinete de fricción utilizado es el PCM 101220 E y, sus características mecánicas y dimensionales se encuentran en el anexo.
- Los cojinetes axiales utilizados son del modelo 608-2RS y, sus características mecánicas y dimensionales se encuentran en el anexo.
- El casquillo lineal utilizado es el modelo LM20UU y, sus características mecánicas y dimensionales se encuentran en el anexo.
- El tubo hueco que se utiliza debe ser de acero inoxidable y cumplir una tolerancia dimensional de  $\pm 0,02\text{mm}$ .
- Los taladros pasantes del tubo hueco deben de ser mecanizados y cumplir una tolerancia dimensional de  $\pm 0,1\text{mm}$ .
- Las varillas utilizadas son de acero inoxidable y deben cumplir una tolerancia dimensional de  $\pm 0,02\text{mm}$ . Sus respectivos taladros pasantes deben cumplir una tolerancia dimensional de  $\pm 0,1\text{mm}$ .
- Para las piezas impresas en 3D se ha utilizado el material PLA, se recomienda utilizar el mismo plástico tipo PLA o ABS como sustituto.
- Las piezas impresas en 3D se crean con una tolerancia de  $\pm 0,5\text{mm}$ .
- El contrapeso del dispositivo puede fabricarse de cualquier material mientras cumpla con las dimensiones y peso necesarios, así como se explica en el apartado de su fabricación.

#### **3.2. ESPECIFICACIONES DE FABRICACIÓN Y OBTENCIÓN DE PIEZAS**

Las piezas serán elaboradas, en caso de realizarse en el equipo de investigación de la universidad, por un técnico de taller con conocimientos sobre la maquinaria y equipos para realizar el mecanizado. En caso contrario, deberá hacerse en un taller con competencias para realizar tales trabajos.

Las referencias comerciales recomendadas para adquirir las piezas necesarias para el dispositivo se exponen a continuación. (Tabla 34)

CONCEPTO	DESIGNACIÓN	REFERENCIA	PROVEEDOR
PIEZAS	Perfil 8 40X40 E	0.0.452.791	Sinerges
	Tornillo Gota de Sebo M8 X16	8.0.000.19	Sinerges
	Tuerca V8 ST M8	0.0.486.251	Sinerges
	Kit Escuadra 8 40X40 ZN	0.0.411.15	Sinerges
	Angulo 8 40X40	0.0.665.53	Sinerges
	Kit Union 8 2-5 mm C/Tor.Av.M8	0.0.680.96	Sinerges
	Tapetas 8 40 X 40	0.0.026.01	Sinerges
	Tubo Hueco Inox. 370 mm	-	Asucer
	Mosquetón Bombero MBC 5*50 mm	MI09532915	Inaupi
	Cojinete de Fricción	PCM 101220 E	SKF
	Rodamientos de Bolas	608-2RSH	SKF
	Casquillo Lineal	LM20-UU	ZEN
	Soporte Aluminio SK8	PRO-0208	Bricogeek
	Varilla Acero Inoxidable 8 mm	ROB-0064	Bricogeek
	Varilla Acero Inoxidable 8 mm	ROB-0066	Bricogeek
	Varilla Acero Inoxidable 10 mm	ROB-0055	Bricogeek
COMPONENTES ELECTRÓNICOS	Controlador Alta Corriente DRV8825	MOT-0020	Bricogeek
	Fin de Carrera con Rodamiento	CPM-0111	Bricogeek
	Kit de Placas PCB	PRO-0200	Bricogeek
	Set de Cables M/M 15cm	PRO-0021	Bricogeek
	Kit de Condensadores	PRO-0172	Bricogeek
	Arduino MEGA 2560 rev3	ARD-0033	Bricogeek
	Motor Paso a Paso NEMA 17 con Husillo 38 cm	MOT-0024	Bricogeek
	Módulo Bluetooth HC-05	BLT-0008	Bricogeek

Tabla 34. Referencias y proveedores comerciales de los materiales

### 3.3. ESPECIFICACIONES DE EJECUCIÓN

La ejecución del proyecto debe hacerse siguiendo los planos establecidos para el diseño y fabricación del dispositivo (*Planos*). En ellos, se encuentran las dimensiones y posiciones que deben situarse cada una de las piezas para su correcto funcionamiento.

A continuación, se enumeran ordenadamente los pasos a seguir para poder utilizar el dispositivo:

1. Situar los cojinetes en la posición de partida y la posición deseada. Para ello, se debe comprobar la posición de los cojinetes y retirar los mosquetones con los pesos u objetos para que no suponga dificultad su colocación.
2. Ajustar la posición del contrapeso situado en el extremo del tubo y verificar que está en equilibrio el sistema.
3. Ajustar la altura del sistema de regulación de altura para asegurar el contacto de la palanca en la posición correcta.
4. Ajustar la posición de la mano artificial y colocar los mosquetones con sus respectivos peso y objeto en cada uno de los cojinetes.

5. Colocar los pesos en el mecanismo que tira de las articulaciones de los dedos, además, se debe comprobar que la mano artificial está sujetando firmemente el objeto.
6. Comprobar el estado de las conexiones del circuito y conectar la placa Arduino vía USB a nuestro ordenador.
7. Conectar vía Bluetooth el smartphone con el módulo Bluetooth HC-05. Para comprobar la correcta conexión, se observará en el IDE Arduino, tal y como se explica en el Anexo. (5. *App Dispositivo Móvil*)
8. Conectar la fuente de alimentación del sistema, asegurándose que la tensión y la intensidad están al nivel correspondiente
9. Pulsar el botón *HOME* para situar la tuerca del husillo en la posición de partida.
10. Introducir los datos del ensayo en la app Bluetooth.
11. Pulsar el botón *START* para iniciar el ensayo.
12. Una vez finalizado el ensayo comprobar la distancia recorrida e introducir el dato en la app Bluetooth. Finalmente, pulsar el botón *CALCULAR* para obtener el resultado de la fuerza máxima de agarre y pulsar *GUARDAR* para almacenar los datos obtenidos.

#### **4. CONSEJOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO**

En el siguiente apartado se enumeran algunas recomendaciones de seguridad para prevenir accidentes durante la manipulación del dispositivo, y, además, recomendaciones de mantenimiento para alargar la vida útil de los componentes del sistema de transmisión.

- La inserción de los pesos de arena debe de hacerse con precaución para evitar golpes.
- Los componentes electrónicos se recomiendan manipular con la alimentación apagada para evitar posibles electrocuciones que supongan un peligro para las personas.
- Los perfiles de aluminio se recomienda utilizar tapas de plástico para recubrir los extremos y evitar posibles heridas o raspones.
- El husillo del motor no debe de manipularse en funcionamiento ya que podría producir enredos o torceduras.
- El husillo del motor se recomienda aplicar un lubricante para mejorar el rozamiento de fricción y así el desplazamiento de la tuerca.
- La guía paralela al husillo se recomienda aplicar un lubricante para facilitar el desplazamiento de la unión del husillo con el cabezal.
- El casquillo lineal se recomienda llevar un cuidado de limpieza y lubricarlo con aceite o grasa para mejorar su desplazamiento y vida útil.

# **PRESUPUESTO**

## ÍNDICE PRESUPUESTO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>151</b>
<b>2. COSTES DEL PROYECTO .....</b>	<b>152</b>
2.1. COSTE DEL MATERIAL.....	152
2.2. COSTE DEL PERSONAL.....	155
2.3. COSTE DE LAS AMORTIZACIONES .....	155
2.3.1 EQUIPOS DE LABORATORIO.....	155
2.3.2 SOFTWARE .....	156
2.4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM) .....	156
2.5. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) .....	157
<b>3. REFERENCIAS .....</b>	<b>157</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento, se detallan las estimaciones de los costes del estudio y diseño del dispositivo desarrollado en el proyecto, del mismo modo que, todos los gastos relacionados con la fabricación de los sistemas que intervienen.

Para organizar el presupuesto, se establecen tres apartados principales de los costes imputables de: los materiales implicados en el proyecto, la amortización de los equipos de laboratorio y software y el coste de las personas que han intervenido en la elaboración.

La duración de este proyecto ha transcurrido a lo largo de 120 horas aproximadamente, esta cantidad de horas se debe a imprevistos que han surgido durante el transcurso de su ejecución, cabe añadir que, no se ha establecido ningún límite de tiempo más que el que se ha impuesto el autor del proyecto para su realización.

En este transcurso, se han realizado tareas de ingeniero de diseño, para el desarrollo del dispositivo, y, de ingeniero mecánico, para la construcción y montaje del dispositivo que se presenta en el proyecto.

Se ha contado con un ordenador de la universidad y un ordenador portátil personal para el diseño del dispositivo, cálculos y elaboración del mismo. Además de los materiales para la construcción del proyecto, se han usado herramientas que ha proporcionado el técnico del taller para el montaje y calibración del dispositivo, una impresora 3D *Geeetech A10M* para la elaboración de las piezas y objetos del dispositivo, y, equipos de laboratorio para realizar el montaje del circuito electrónico.

Los materiales que se mencionan son lo que se han usado en el montaje de la estructura, y, para ejecutar las funciones que realiza el mecanismo, por lo que se observarán en su respectiva tabla de costes.

El software utilizado corresponde a los siguientes:

- Programas de diseño SolidWorks, AutoCAD para la elaboración en 3D y respectivos cálculos y análisis de la estructura.
- Programas de impresión 3D Slicer o Ultimaker Cura para imprimir las piezas.
- Microsoft Office para las aplicaciones de Word y Excel, que se han utilizado para elaborar y redactar el proyecto
- El programa de IDE Arduino para el circuito electrónico, el cual al tratarse de un software libre no ha supuesto ningún coste.
- El entorno *MIT App Inventor* para la creación de la aplicación Bluetooth del dispositivo.



## 2. COSTES DEL PROYECTO

A continuación, se detallan los costes de cada uno de los apartados del presupuesto en sus respectivas tablas, donde se observan diferentes anotaciones según el coste que implica cada una.

### 2.1. COSTE DEL MATERIAL

En este apartado se detallan los costes de los materiales que se han utilizado tanto en la estructura como en el circuito electrónico. Estos, se han obtenido de los proveedores que se mencionan en el apartado 3.2 del *Pliego de Condiciones*. [1] [2]

El coste del plástico utilizado para elaborar las piezas y objetos modelados en 3D, se ha estimado en función de su cantidad de gramos. Una bobina de filamento 3D de 1 kg cuesta 28€ aproximadamente, sabiendo la cantidad de plástico que se va a utilizar en el proyecto se estimará con unas sencillas operaciones el coste total.

Como se conocen las dimensiones de los objetos por medio de las especificaciones, se calculará su volumen y la densidad del plástico (Tabla 35), la cual se obtendrá de la hoja de especificaciones del fabricante. [3]

$\rho_{PLA}$	1,24	g/cm <sup>3</sup>	
--------------	------	-------------------	--

	$\Sigma M_{TOTAL}$ (g)	PRECIO (€/kg)	IMPORTE (€)
OBJETOS	1322	28,00 €	37,00 €
PIEZAS	550	28,00 €	15,40 €
		<b>TOTAL</b>	<b>52,40 €</b>

Tabla 35. Coste de los objetos y piezas

Otra forma de calcular el coste, sería mediante los programas de impresión 3D, como Slicer o Ultimaker Cura, a medida que se van seleccionando las piezas para su impresión. El mismo programa permite estimar el precio de la pieza, la cual se imprime en función de la cantidad de capas de plástico que se vayan a utilizar. [4]

La pieza de apoyo del husillo tendría un coste aproximado de 1,93 €. (Figura 178)

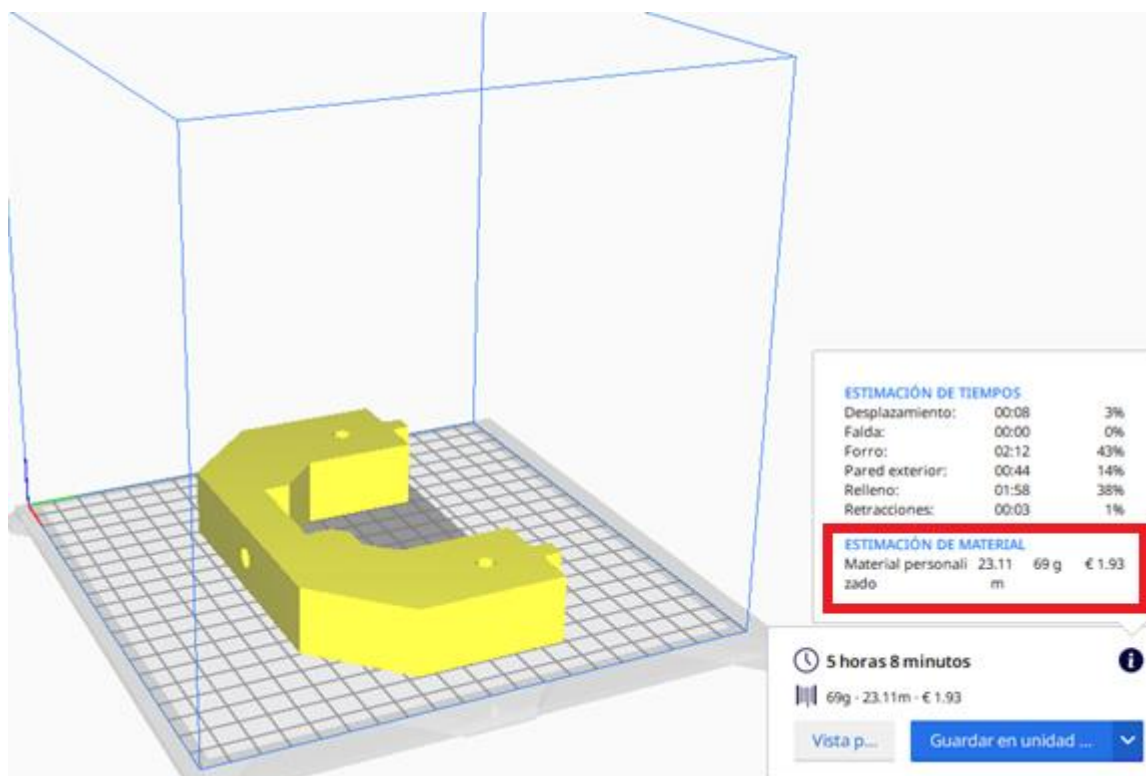


Figura 178. Impresión de pieza en 3D con Ultimaker Cura

A continuación, se detallan los costes de todos los materiales:

	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (mm)	CANTIDAD	PRECIO Ud. (€)	TOTAL (€)
1	PERFIL 8 40X40 E	500	4	10,87	21,74 €
2	PERFIL 8 40X40 E	160	1	10,87	1,74 €
3	MEC. CORTE PEQUEÑO	-	5	1,99	9,95 €
4	KIT ESCUADRA 8 40X40	-	8	1,3	10,40 €
5	KIT FIJACIÓN 8 40 / PLETINA 8 40	-	8	1,5	12,00 €
6	TAPETAS PERFILES	-	4	0,62	2,48 €
7	TORNILLOS / TUERCAS M8 X16 ITEM	-	10	0,5	5,00 €
8	RESTO TORNILLERÍA	-	1	6	6,00 €
9	SOPORTE ALUMINIO SK8	-	1	1,69	1,69 €
10	VARILLA AC. INOX D = 8 mm	350	1	23,8	8,33 €
11	VARILLA AC. INOX D = 8 mm	100	2	23,8	4,76 €

12	BARRA HUECA	370	1	23,7	8,77 €
13	MEC. CORTE BARRA	-	1	5	5,00 €
14	VARILLA AC. INOX D = 10 mm	160	1	39,93	6,39 €
15	COJINETE FRICCIÓN D = 12 mm /d = 10 mm	-	1	15	15,00 €
16	CASQUILLO LINEAL LM20-UU	-	1	10,91	10,91 €
17	RODAMIENTOS 608-2RSH	-	2	3,16	6,32 €
18	MOSQUETÓN BOMBERO MBC 5*50		2	0,59	1,18 €
19	HILO DE PESCAR	-	1	8,99	8,99 €
20	IMPRESIONES 3D PLA	-	2	28	52,40 €
21	ARDUINO MEGA 2560 REV3	-	1	41,75	41,75 €
22	FIN DE CARRERA	-	2	1,88	3,76 €
23	DRIVER DRV8825	-	1	10,83	10,83 €
24	KIT HUSILLO MOTOR	-	1	60,38	60,38 €
25	MODULO BLUETOOTH HC-05	-	1	5,45	5,45 €
26	CABLE USB	-	1	3,8	3,80 €
27	ALIMENTADOR 12 V - 2A	-	1	5,93	5,93 €
28	SET DE CABLES	-	1	2,3	2,30 €
29	PLACA PCB	-	1	1	1,00 €
30	CONDENSADOR 100 µF	-	1	0,7	0,70 €
31	RESISTENCIAS	-	6	0,05	0,30 €
32	ESTAÑO 100 g	-	1	8,95	8,95 €
GASTOS DE ENVÍO		-	1	19	19,00 €
				TOTAL SIN IVA	300,17 €
				I.V.A (21%)	63,03 €
				TOTAL + IVA	363,20 €

Tabla 36. Costes materiales

## 2.2. COSTE DEL PERSONAL

A continuación, se recogen los datos del coste del personal que interviene en el proyecto, el cual se ha separado la intervención de cada uno de los componentes, según el tiempo dedicado junto con salario por cada hora trabajada. (Tabla 37)

MATERIAL	TIEMPO (horas)	PRECIO (€/hora)	IMPORTE (€)
INGENIERO DISEÑO	120	9,00	1.080,00 €
OPERARIO TALLER	15	10,00	150,00 €
TOTAL			1.230,00 €

Tabla 37. Coste del personal

## 2.3. COSTE DE LAS AMORTIZACIONES

En este apartado se consideran las amortizaciones de los equipos y del software durante el tiempo de utilización en el desarrollo del proyecto.

El coste de la amortización se considerará mediante la Ecuación 7.

$$\text{Coste Amortización} = \text{Precio} \cdot \frac{\text{Tiempo de utilización(meses)}}{12 \text{ meses/año}} \cdot \frac{1}{T_{\text{Amortización}} (\text{años})}$$

Ecuación 7. Coste amortización

### 2.3.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

Para la amortización de los distintos equipos de laboratorio se ha supuesto una amortización para 5 años, se observan los costes a continuación: (Tabla 38)

MATERIAL	PRECIO (€)	AMORTIZACIÓN (años)	PERIODO DE USO (días)	IMPORTE (€)
ORDENADOR PORTÁTIL	700,00 €	5	20	7,78 €
MÓVIL SMARTPHONE	400,00 €	5	10	2,22 €
PROMAX FA-665B	444,60 €	5	10	2,47 €
IMPRESORA 3D	250,00 €	5	7	0,97 €
TOTAL				13,44 €

Tabla 38. Coste equipos de laboratorio

### 2.3.2 SOFTWARE

Para la amortización del software se considera un periodo de amortización de un año que corresponde a lo que dura la licencia anual. Conocido el coste anual, se calcula acorde al coste de amortización que supone durante el transcurso del proyecto. (Tabla 39)

MATERIAL	PRECIO LICENCIA (€/año)	PERIODO DE USO (días)	IMPORTE (€)
SOLIDWORKS	6000	10	166,67 €
MICROSOFT OFFICE	444,6	20	24,70 €
AUTOCAD	1200	5	16,67 €
TOTAL			208,03 €

Tabla 39. Coste Software

### 2.4. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DEL MATERIAL (PEM)

Considerando los costes de los apartados anteriores, se obtiene el presupuesto de ejecución del material del presente proyecto. (Tabla 40)

CONCEPTO	IMPORTE (€)
AMORTIZACIONES	221,48 €
COSTE PERSONAL	1.230,00 €
COSTE MATERIAL	363,20 €
TOTAL	1.814,68 €

Tabla 40. Presupuesto de ejecución del material (PEM)

## 2.5. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)

El presupuesto de ejecución por contrata se obtiene añadiendo al coste PEM en concepto de gastos generales y de beneficio industrial. (Tabla 41)

CONCEPTO	IMPORTE (€)
PEM	1.814,68 €
GASTO GENERAL (20%)	362,94 €
TOTAL	2.177,61 €
BENEFICIO (6%)	13,07 €
TOTAL SIN IVA	2.190,68 €
I.V.A (21%)	460,04 €
TOTAL + IVA	2.650,72 €

Tabla 41. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC)

## 3. REFERENCIAS

- [1] [https://www.sinerges.com/wp-content/uploads/pdf/item\\_MB\\_ES.pdf](https://www.sinerges.com/wp-content/uploads/pdf/item_MB_ES.pdf)
- [2] <https://tienda.bricogeek.com/>
- [3] <https://fillamentum.com/collections/pla-extrafill/products/pla-extrafill-traffic-white?variant=941509019>
- [4] <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>

# PLANOS



## ÍNDICE PLANOS

### 1. DISPOSITIVO SISTEMA DE PALANCA

#### 1.1. BASE PACMAR

#### 1.2. TORRE DISPOSITIVO

#### 1.3. SISTEMA DE REGULACIÓN DE ALTURA

##### 1.3.1. PLATAFORMA

##### 1.3.2. BASE SOPORTE

##### 1.3.3. ESCUADRA

##### 1.3.4. TOPE ENGRANAJE RECTO

##### 1.3.5. TAPA SUPERIOR SOPORTE

##### 1.3.6. ENCAJE PIVOTE

##### 1.3.7. PIVOTE SOPORTE

#### 1.4. TRAVESAÑO DISPOSITIVO

#### 1.5. HUSILLO CON MOTOR

##### 1.5.1. BASE APOYO HUSILLO

##### 1.5.2. CABEZAL CÓNICO

##### 1.5.3. CABEZAL DE UNIÓN

##### 1.5.4. BASE PLATAFORMA MOTOR

#### 1.6. CIRCUITO ELECTRÓNICO

##### 1.6.1. CAJA CIRCUITO

#### 1.7. SISTEMA DE PALANCA

##### 1.7.1. SOPORTE VARILLA PALANCA

##### 1.7.2. TOPE VARILLA PALANCA

##### 1.7.3. VARILLA PALANCA

##### 1.7.4. CONTRAPESO ACERO

##### 1.7.5. COJINETE RESISTENTE

##### 1.7.6. TUBO HUECO PALANCA

##### 1.7.7. COJINETE BRAZO

**1.8. SISTEMA POLEA MÓVIL**

- 1.8.1. PLETINA POLEA
- 1.8.2. TOPE VARILLA POLEA MÓVIL
- 1.8.3. VARILLA POLEA
- 1.8.4. POLEA

**1.9. SISTEMA POLEA FIJO**

- 1.9.1. SOPORTE APOYO VARILLA
- 1.9.2. TOPE VARILLA POLEA FIJA
- 1.9.3. VARILLA POLEA FIJA

**2. CONTRAPESO GRAVA**

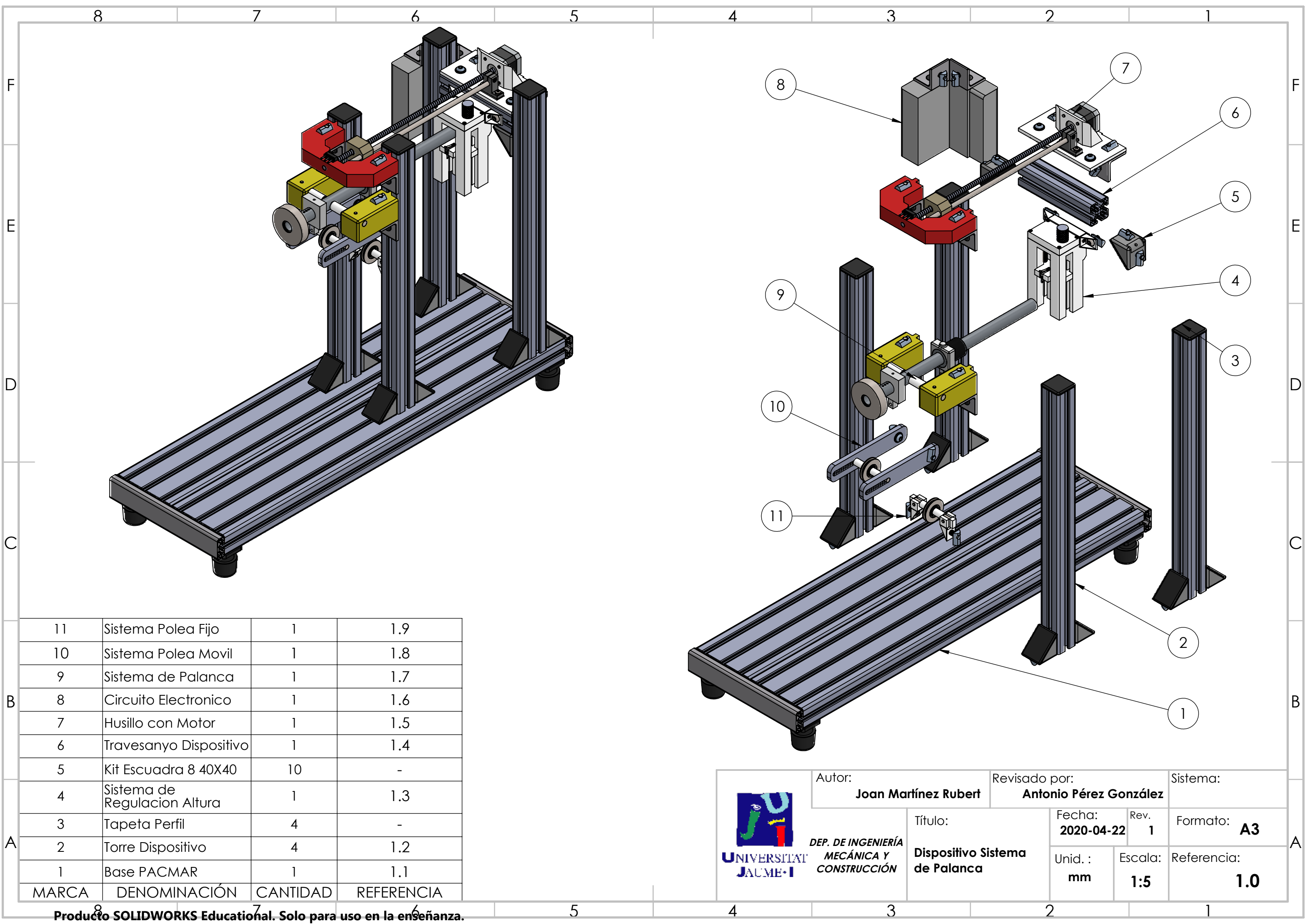
- 2.1. BASE CONTRAPESO
- 2.2. TAPA CONTRAPESO
- 2.3. TAPA LATERAL

**3. SET DE BLOQUES DE POSICIÓN**


- 3.1. BLOQUE POSICIÓN 1
- 3.2. BLOQUE POSICIÓN 2
- 3.3. BLOQUE POSICIÓN 3
- 3.4. BLOQUE POSICIÓN 4
- 3.5. BLOQUE POSICIÓN 5
- 3.6. BLOQUE POSICIÓN 6
- 3.7. BLOQUE POSICIÓN 7
- 3.8. BLOQUE POSICIÓN 8
- 3.9. BLOQUE POSICIÓN 9

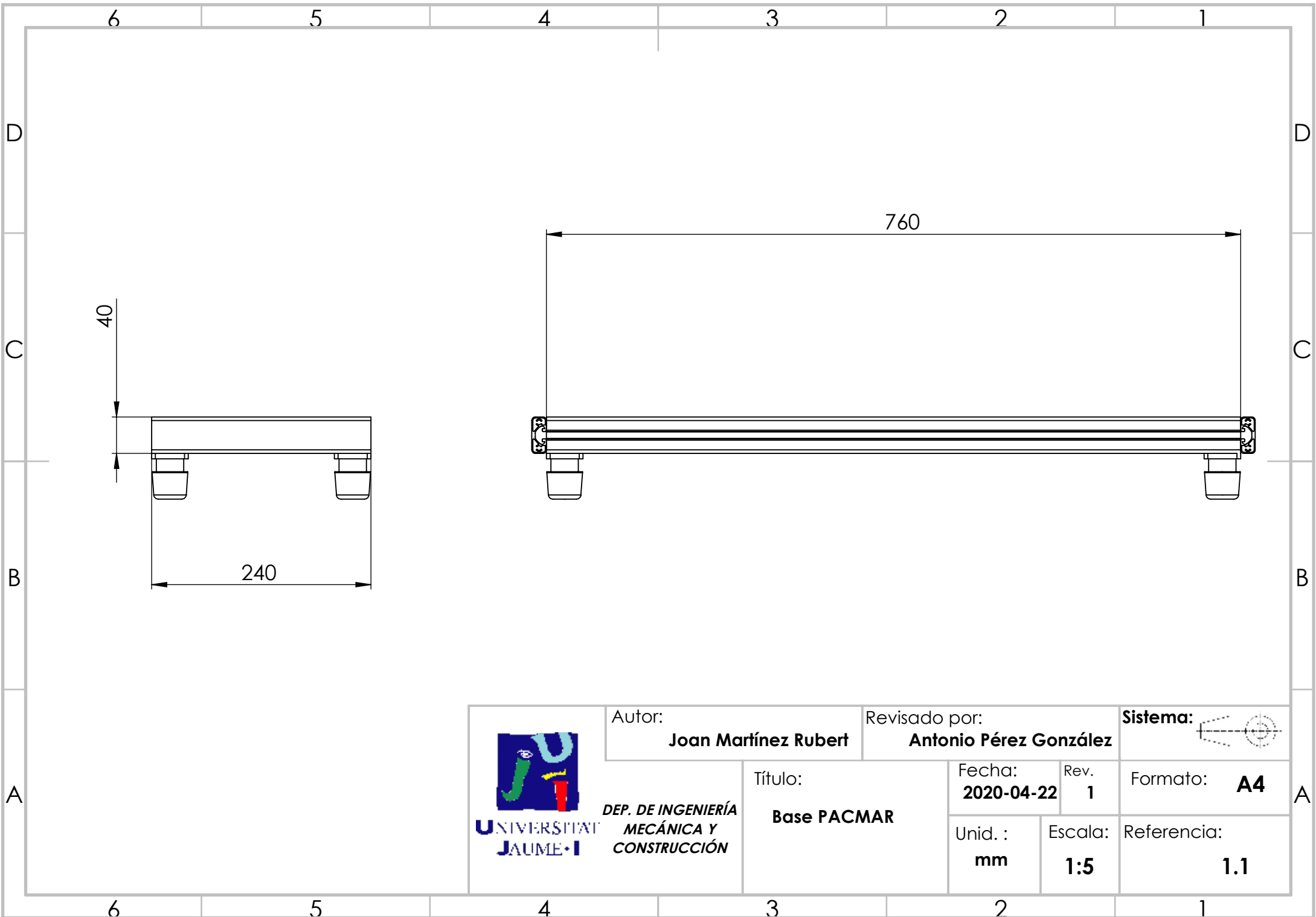
**4. SET DE OBJETOS**


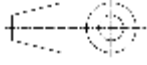
- 4.1. PRISMA 1
- 4.2. PRISMA 2
- 4.3. CILINDRO 1
- 4.4. CILINDRO 2
- 4.5. CILINDRO 3
- 4.6. ESFERA 1
- 4.7. ESFERA 2

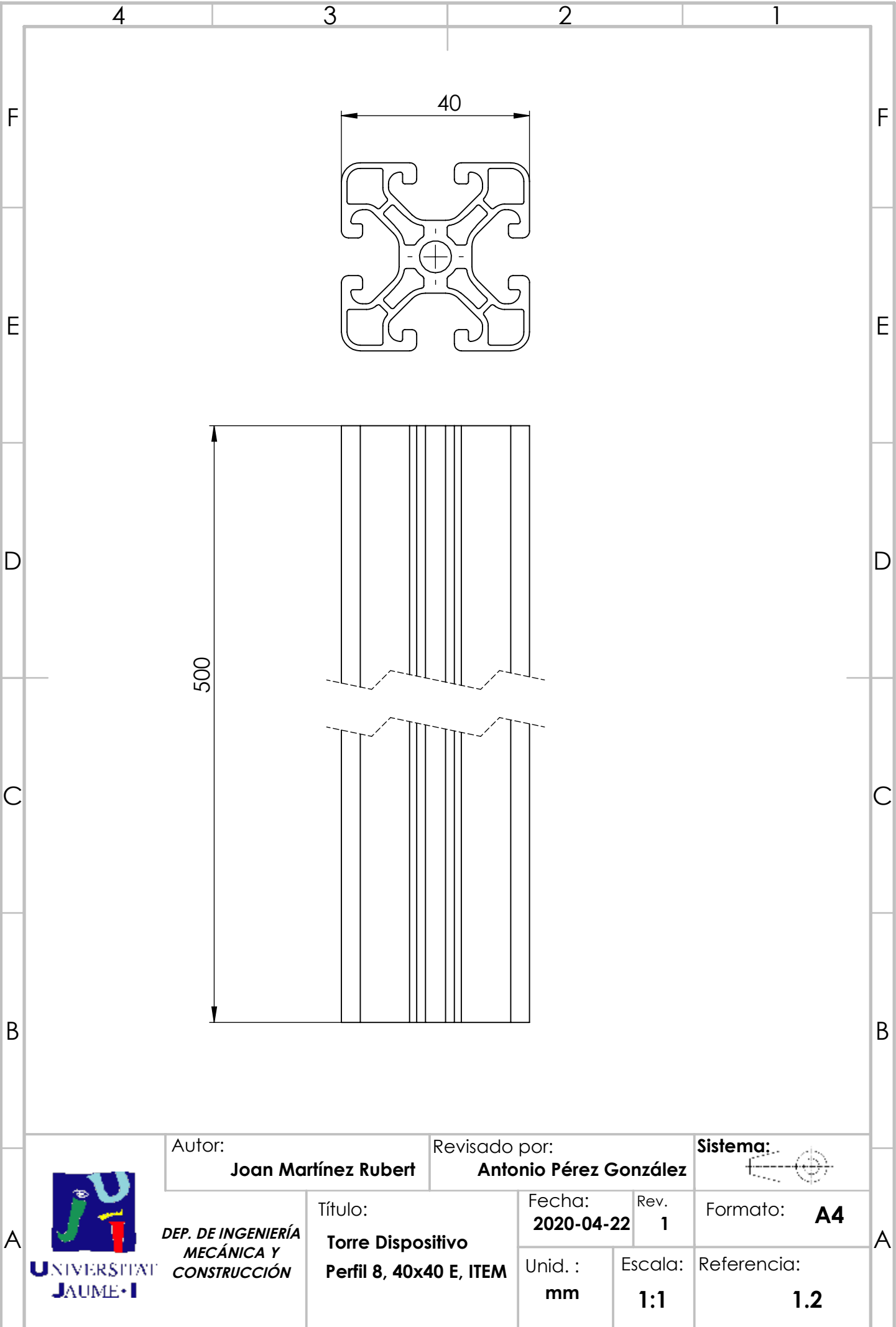


11	Sistema Polea Fijo	1	1.9
10	Sistema Polea Movil	1	1.8
9	Sistema de Palanca	1	1.7
8	Circuito Electronico	1	1.6
7	Husillo con Motor	1	1.5
6	Travesanyo Dispositivo	1	1.4
5	Kit Escuadra 8 40X40	10	-
4	Sistema de Regulacion Altura	1	1.3
3	Tapeta Perfil	4	-
2	Torre Dispositivo	4	1.2
1	Base PACMAR	1	1.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 UNIVERSITAT JAUME·I	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:	
	Título: <b>Dispositivo Sistema de Palanca</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>	
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:5</b>	Referencia: <b>1.0</b>	



 UNIVERSITAT JAUME I	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 
	Título: <b>Base PACMAR</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A4</b>
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:5</b>	Referencia: <b>1.1</b>



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Torre Dispositivo  
Perfil 8, 40x40 E, ITEM**

Fecha:  
**2020-04-22**

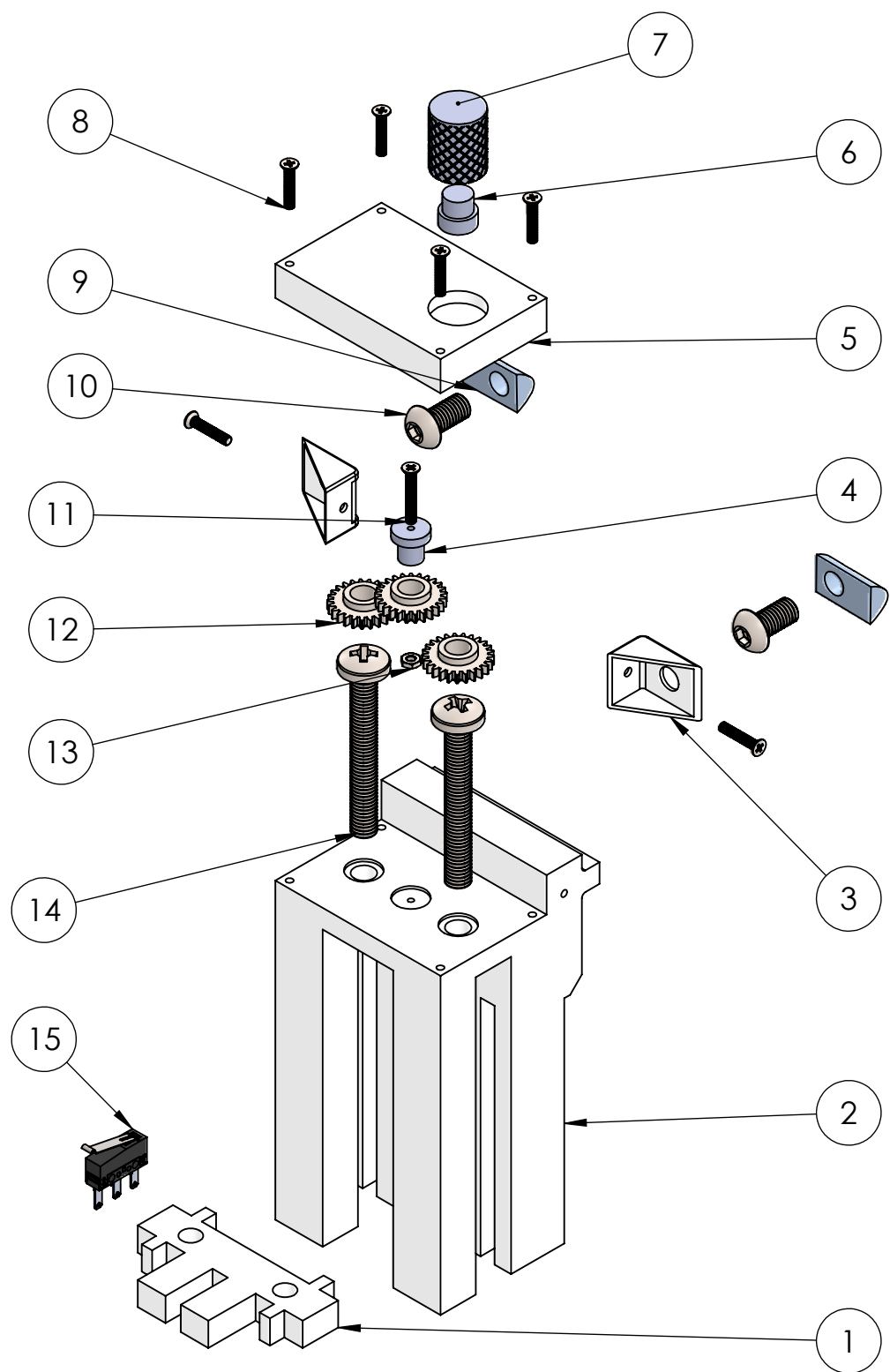
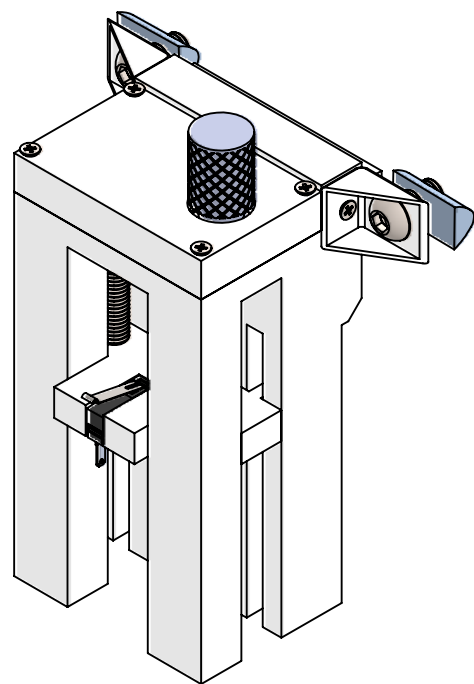
Rev.  
**1**

Formato: **A4**


Unid. :  
**mm**

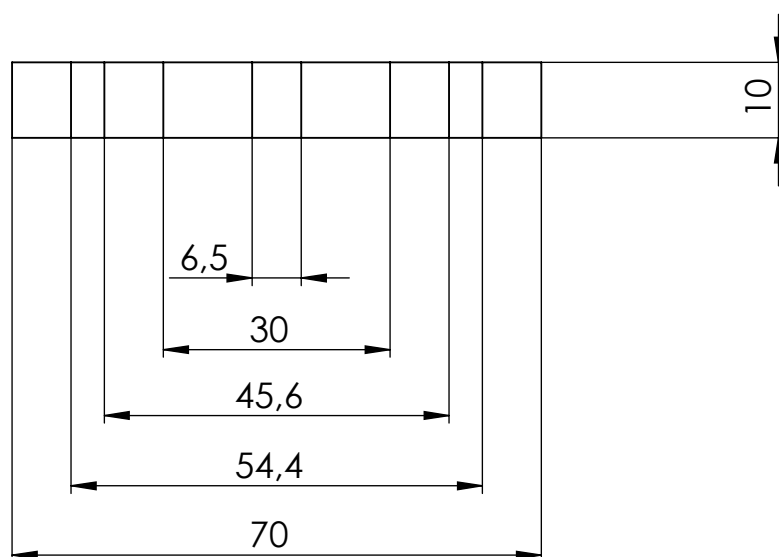
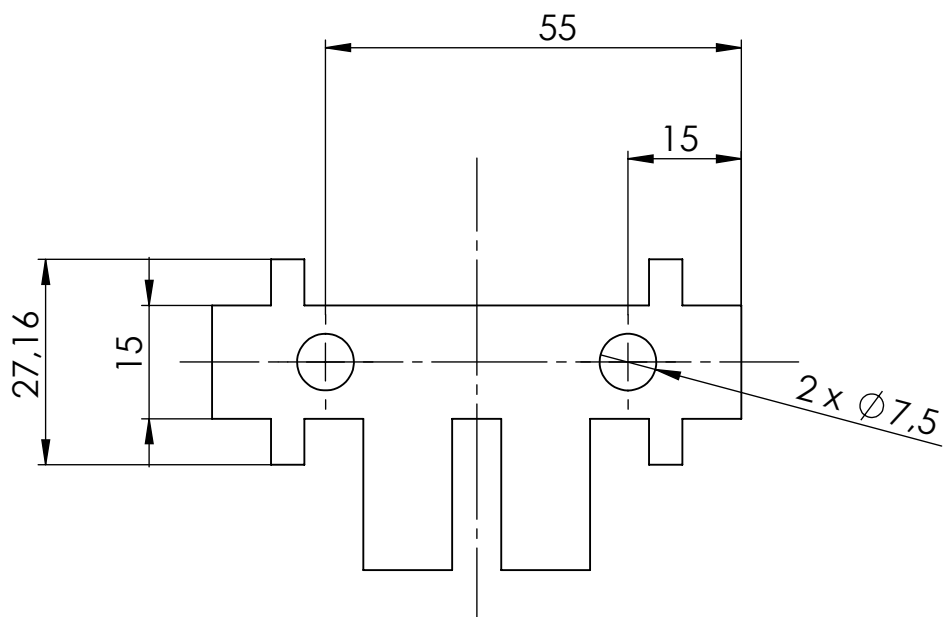
Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.2**



15	Final de Carrera	1	-
14	ISO 7045 - M8 x 60 - Z - 60S	2	-
13	ISO - 4035 - M3 - N	1	-
12	ISO - Spur gear 0.8M 25T 20PA 3FW ---S25C12H8L8.0N	3	-
11	ISO 7046-1 - M3 x 20 - Z - 20S	1	-
10	ISO 7380 - M8 x 16 - 16S	2	-
9	Tuerca V8 ST M8	2	-
8	ISO 7046-1 - M3 x 16 - Z - 16S	6	-
7	Pivote Soporte	1	1.3.7
6	Encaje Pivote	1	1.3.6
5	Tapa Superior Soporte	1	1.3.5
4	Tope Engranaje Recto	1	1.3.4
3	Escuadra	2	1.3.3
2	Base Soporte	1	1.3.2
1	Plataforma	1	1.3.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 <b>UNIVERSITAT</b> <b>JAUME I</b>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:		
	DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN		Título:		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
			Unid. : <b>mm</b>		Escala: <b>1:2</b>	Referencia: <b>1.3</b>	
<b>Sistema de Regulación de Altura</b>							



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Plataforma**

Fecha:  
**2020-04-22**

Rev.  
**1**

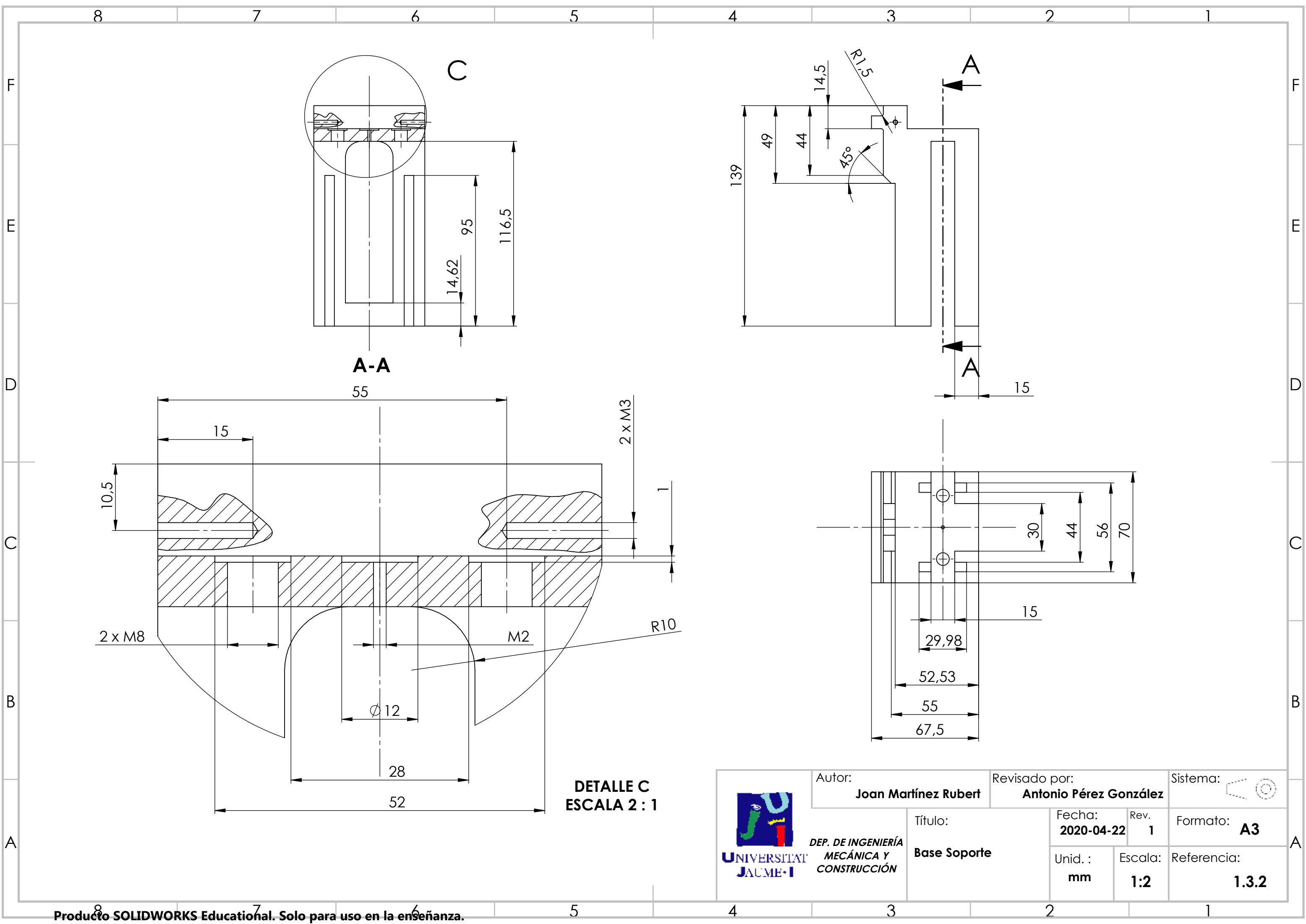
Formato: **A4**



Unid. :  
**mm**

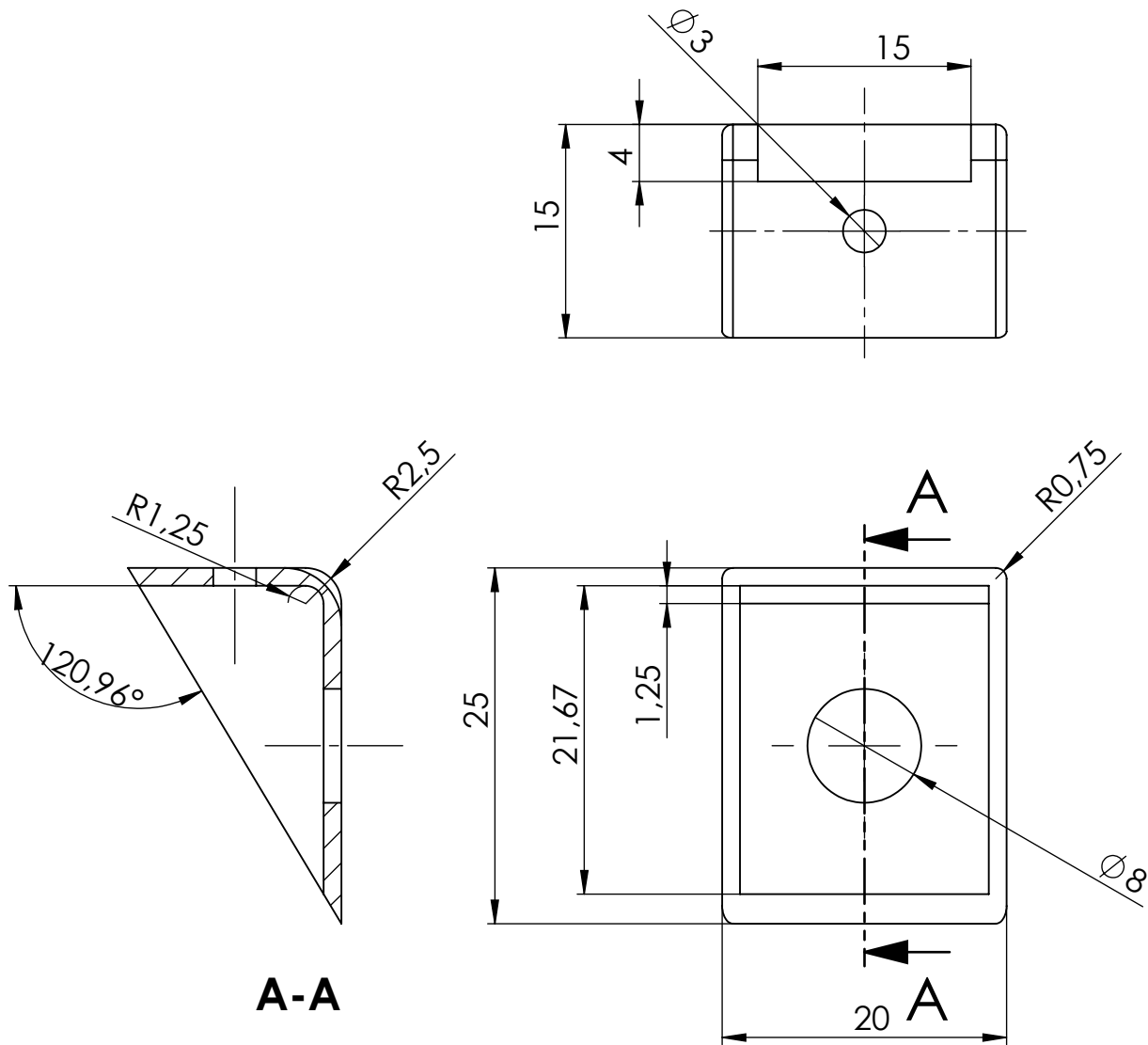
Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.3.1**





 UNIVERSITAT JAUME I	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 
	Título: <b>Base Soporte</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
	Unid.: <b>mm</b>		Escala: <b>1:2</b>	Referencia: <b>1.3.2</b>	



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Título:  
**Escuadra**

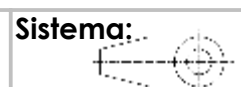
Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Unid. :  
**mm**

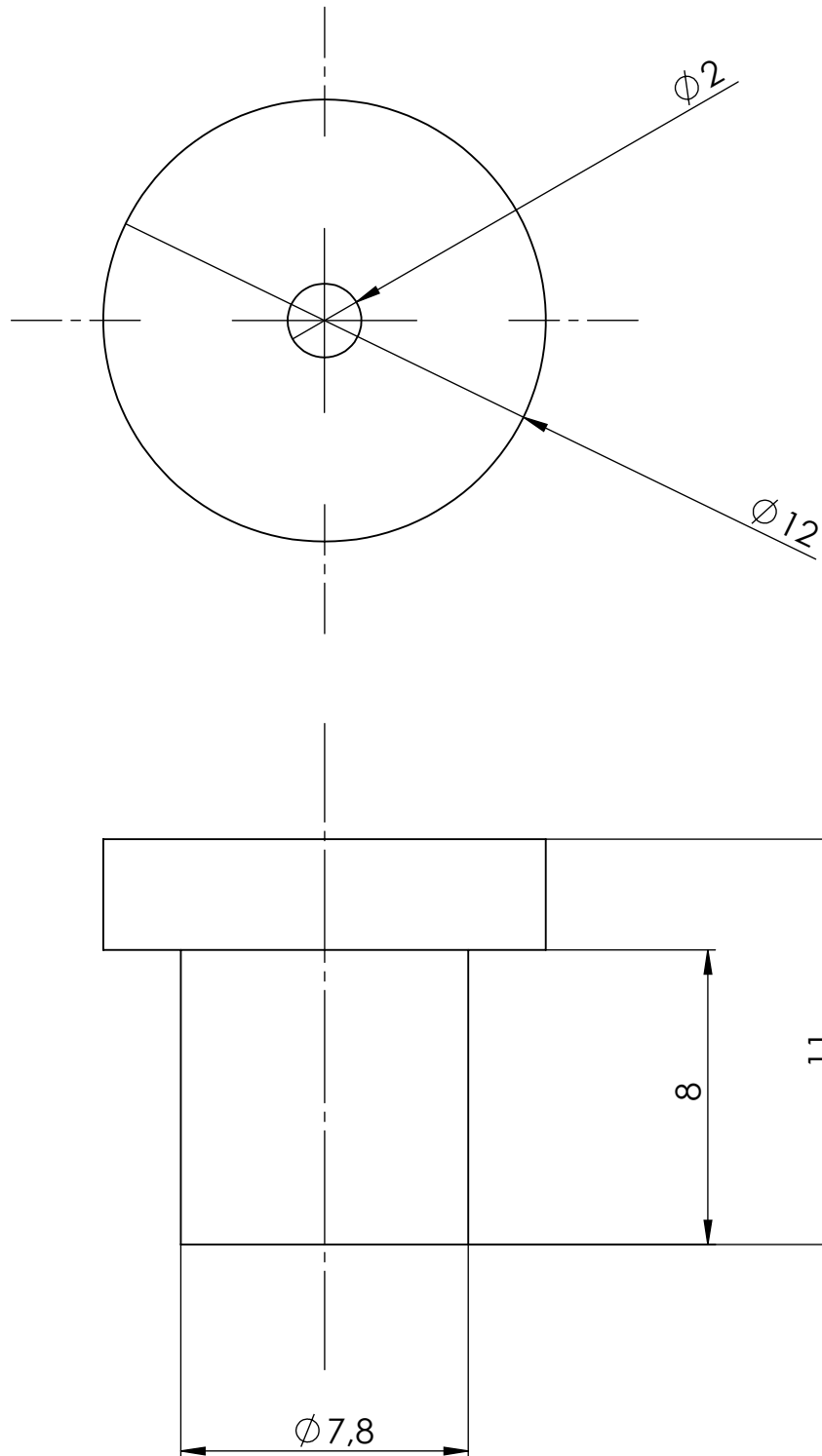
Rev.  
**1**

Escala:  
**2:1**



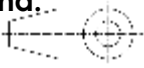
Formato: **A4**

Referencia:  
**1.3.3**



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:  




DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Tope Engranaje  
Recto**

Fecha:  
**2020-04-22**

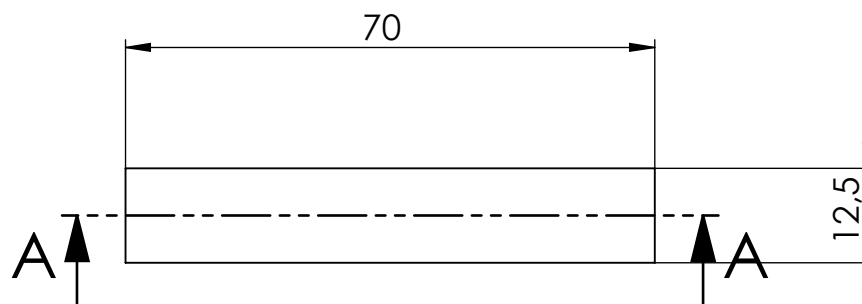
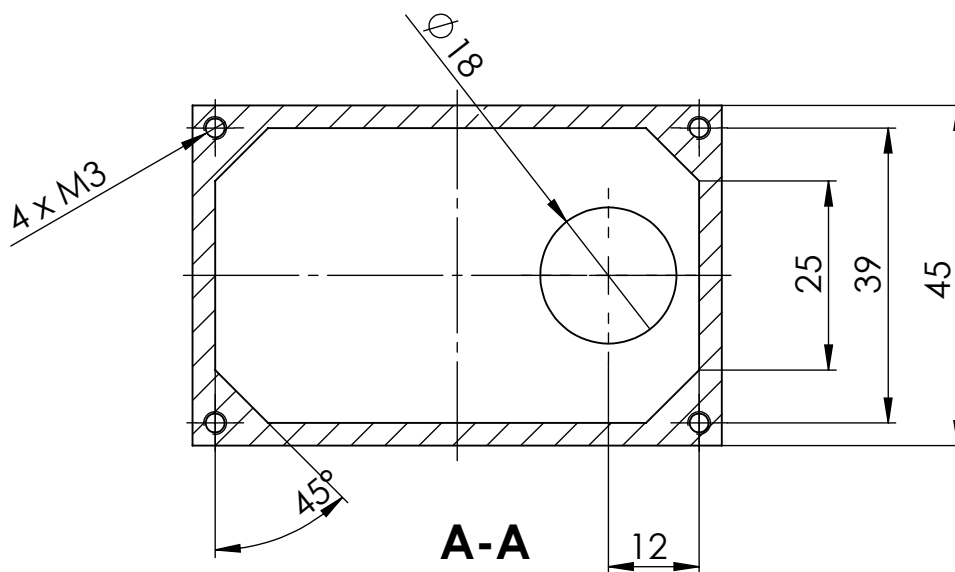
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**5:1**

Referencia:  
**1.3.4**

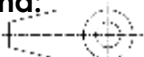


UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:  


Título:  
**Tapa Superior  
Soporte**

Fecha:  
**2020-04-22**

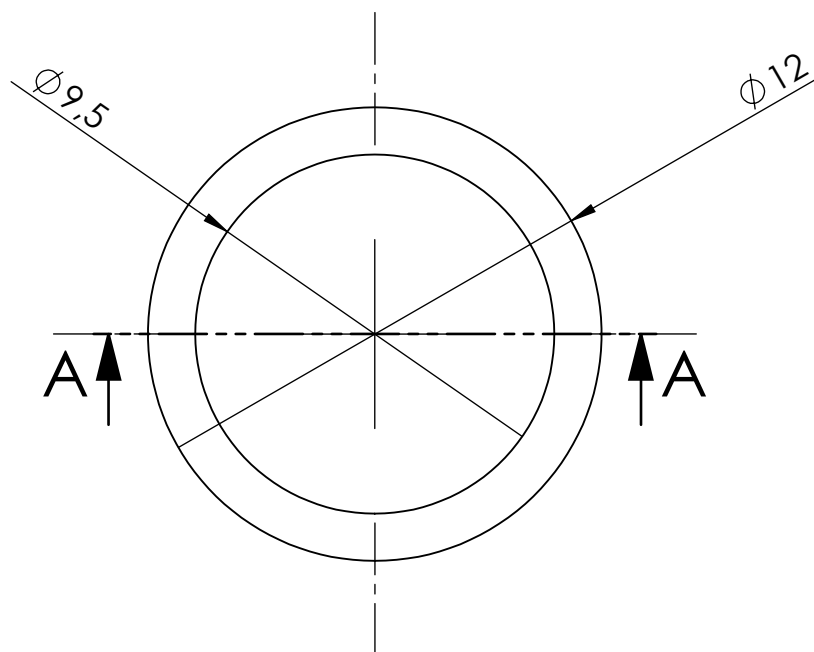
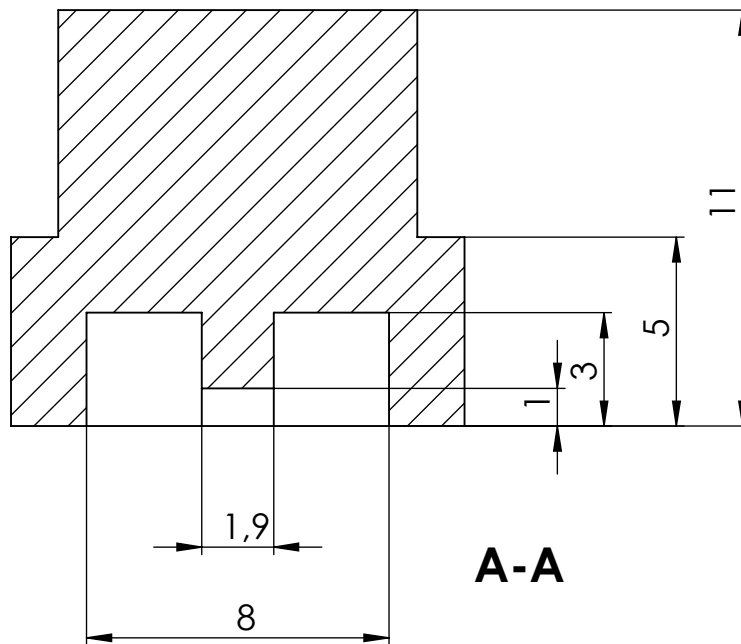
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.3.5**



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Encaje Pivote**

Fecha:  
**2020-04-22**

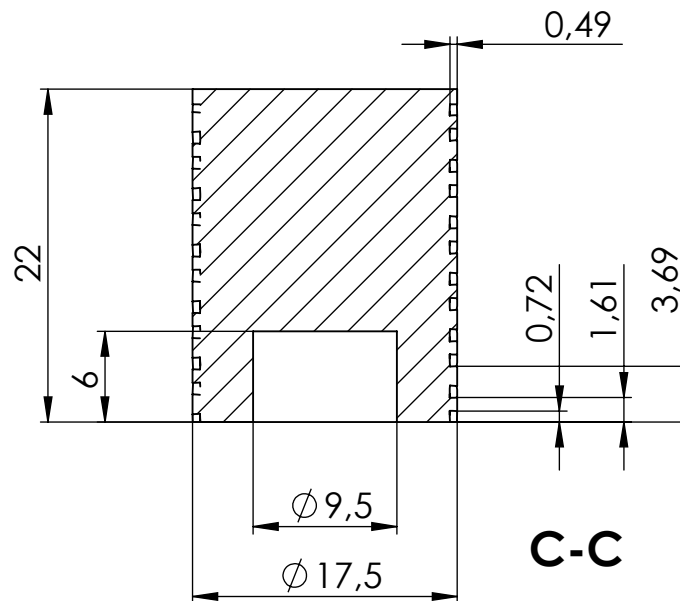
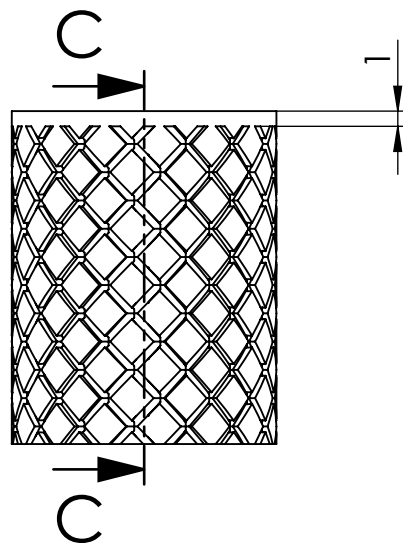
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**5:1**

Referencia:  
**1.3.6**



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

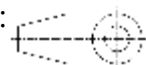
Autor:

**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:

**Antonio Pérez González**

Sistema:



Título:

**Pivote Soporte**

Fecha:  
**2020-04-22**

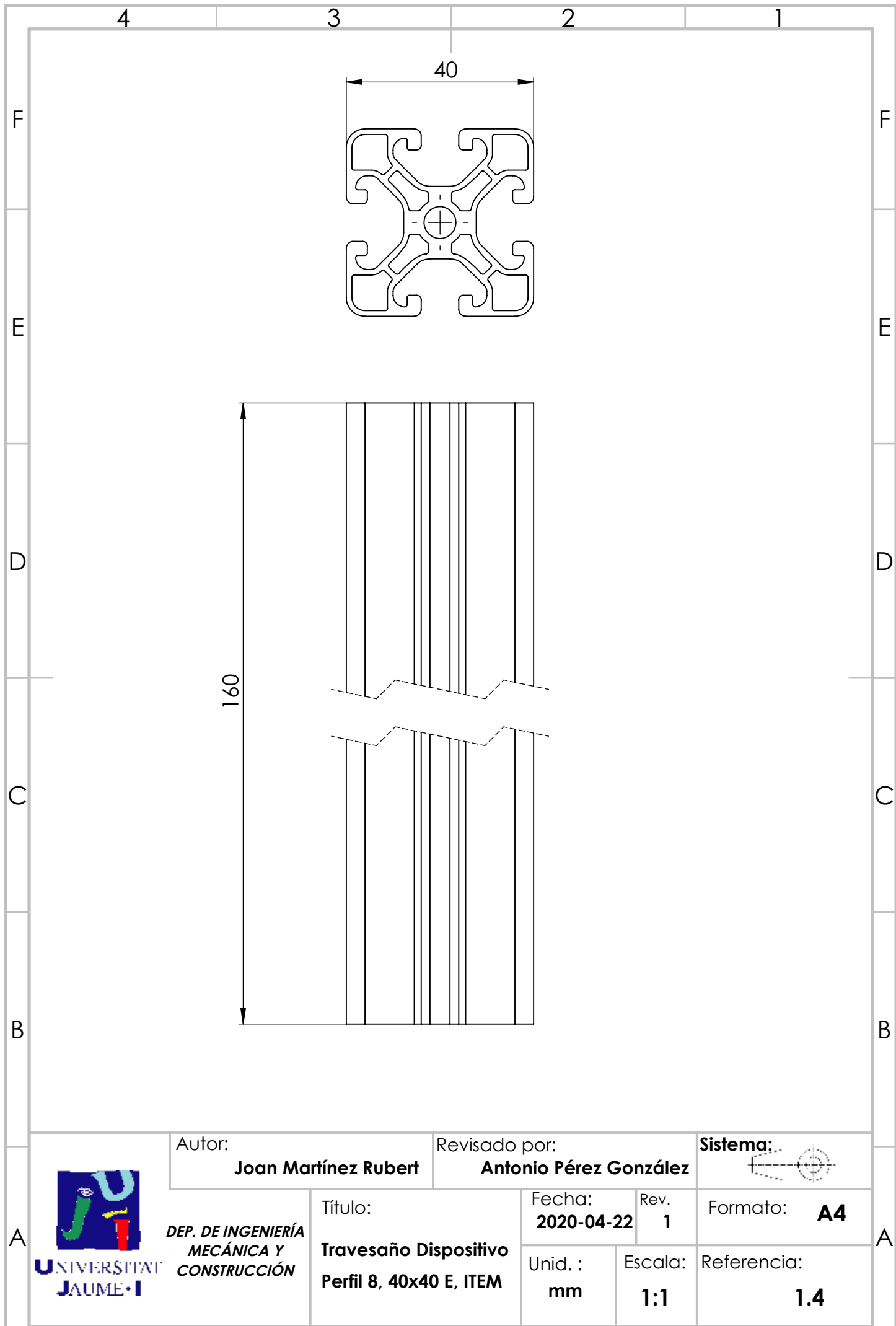
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**1.3.7**



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:  




DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Travesaño Dispositivo  
Perfil 8, 40x40 E, ITEM**

Fecha:  
**2020-04-22**

Rev.  
**1**

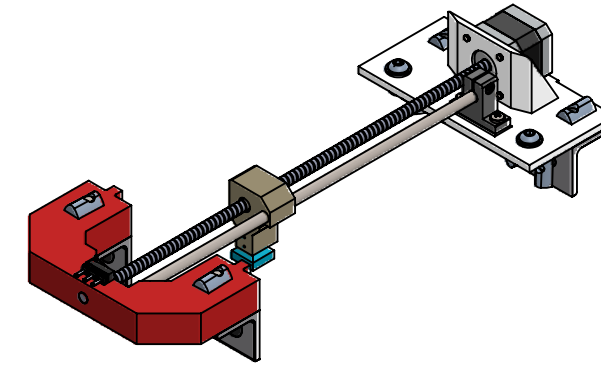
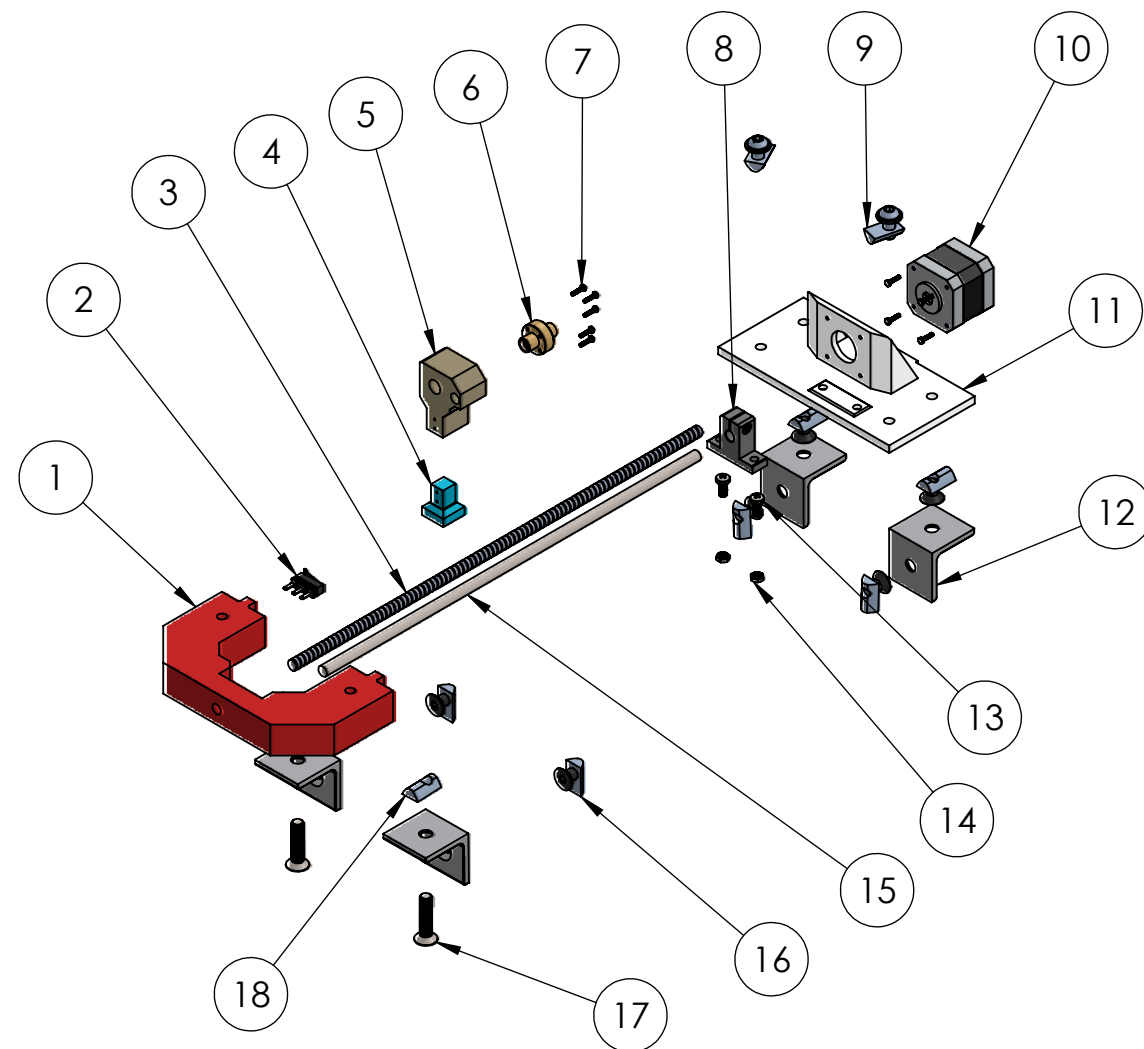
Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**


Escala:  
**1:1**

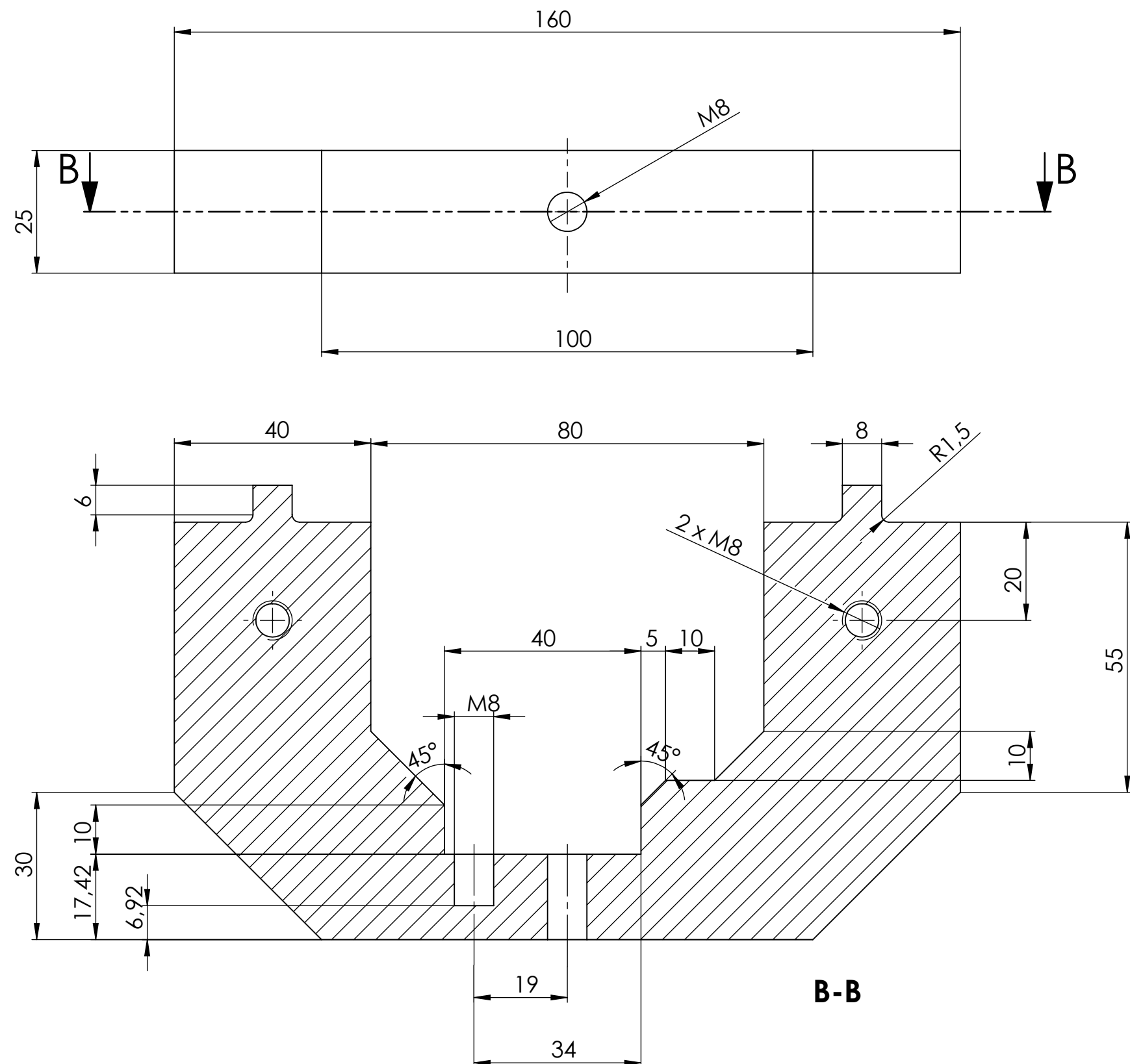
Referencia:  
**1.4**





18	Tuerca V8 ST M8	2	-
17	DIN 7991 - M8 x 35 --- 35S	2	-
16	Kit Tuerca V8 Tornillo M8X16	6	-
15	Varilla Husillo Guia	1	-
14	ISO - 4035 - M5 - S	2	-
13	ISO 7045 - M5 x 12 - Z - 12S	2	-
12	Escuadra 8 40	4	-
11	Base Plataforma Motor	1	1.5.4
10	Motor Nema 17	1	-
9	Kit Tuerca V8 Tornillo Gota de Sebo M8X16.SLDPRT	2	-
8	Soporte SK8	1	-
7	ISO 4017 - M2 x 10-S	10	-
6	Tuerca Husillo	1	-
5	Cabezal de Union	1	1.5.3
4	Cabezal Conico	1	1.5.2
3	Barra Roscada	1	-
2	Final de Carrera	1	-
1	Base Apoyo Husillo	1	1.5.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN	Autor:		Revisado por:		Sistema:	
	Joan Martínez Rubert		Antonio Pérez González			
	Título:		Fecha:	Rev.	Formato:	
	Husillo con Motor		2020-04-22	1	A3	
		Unid. :	Escala:		Referencia:	
		mm	1:5		1.5	



**DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN**

Autor:

**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:

**Antonio Pérez González**

Sistema:



Título:

### Base Apoyo Husillo

Fecha:	
--------	--

2020-04-22

Rev.

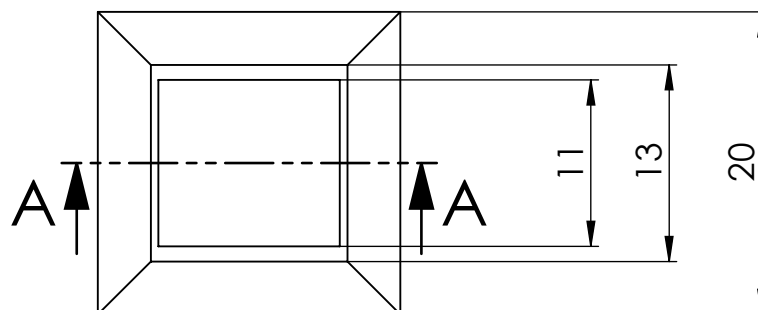
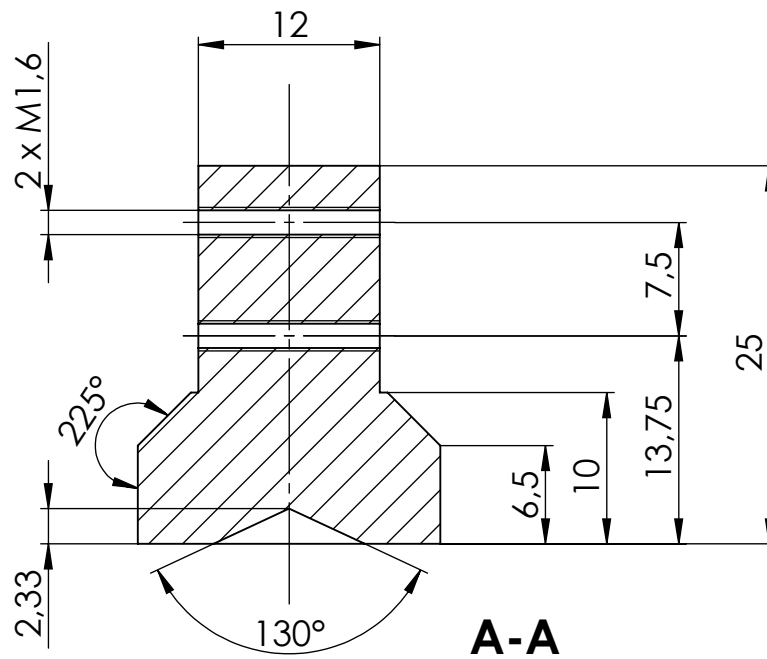
Formato:

### A3

Unid. :

Escala:

Referencia:



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Cabezal Cónico**

Fecha:  
**2020-04-22**

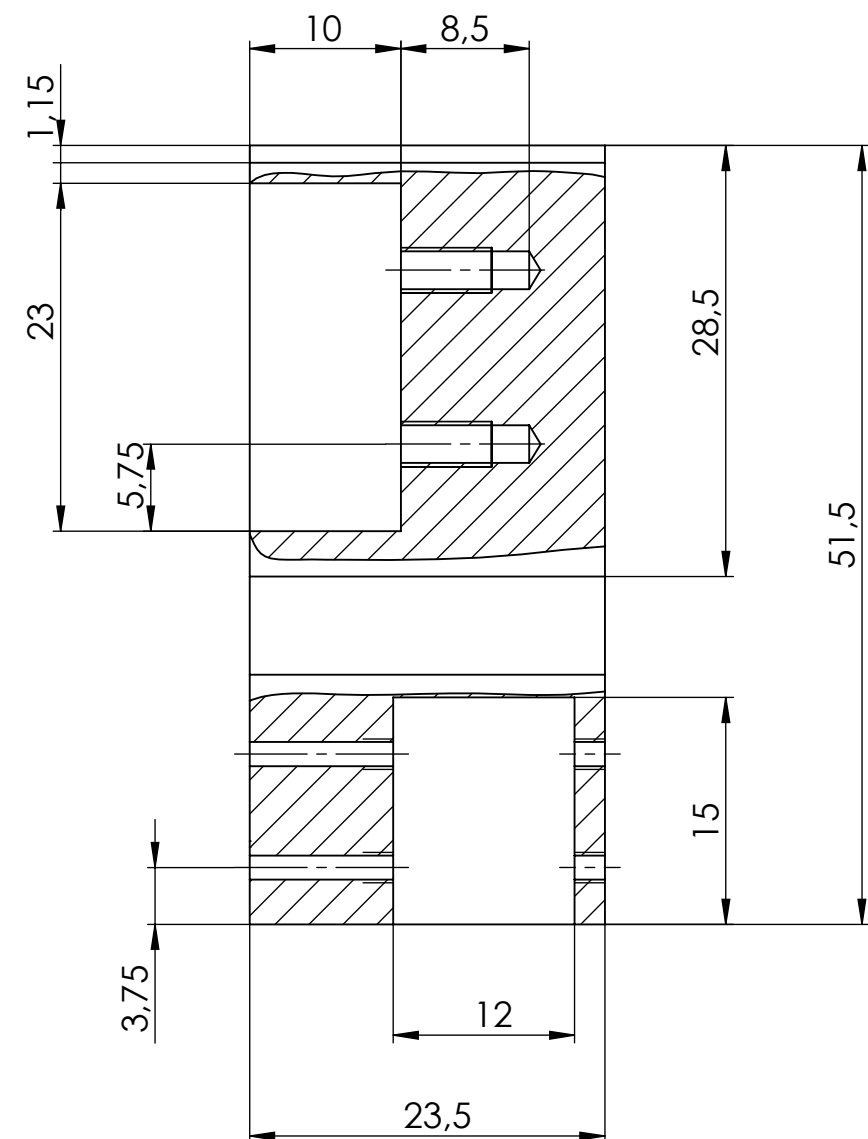
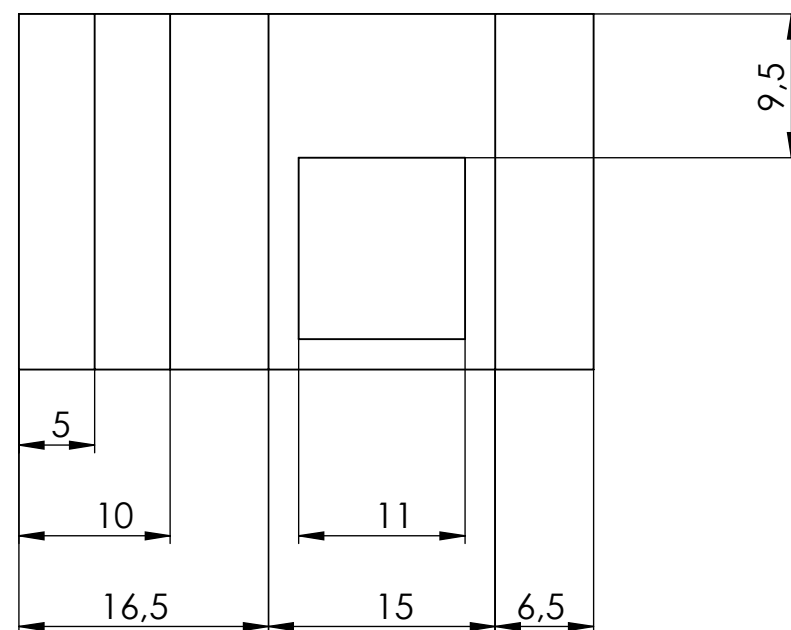
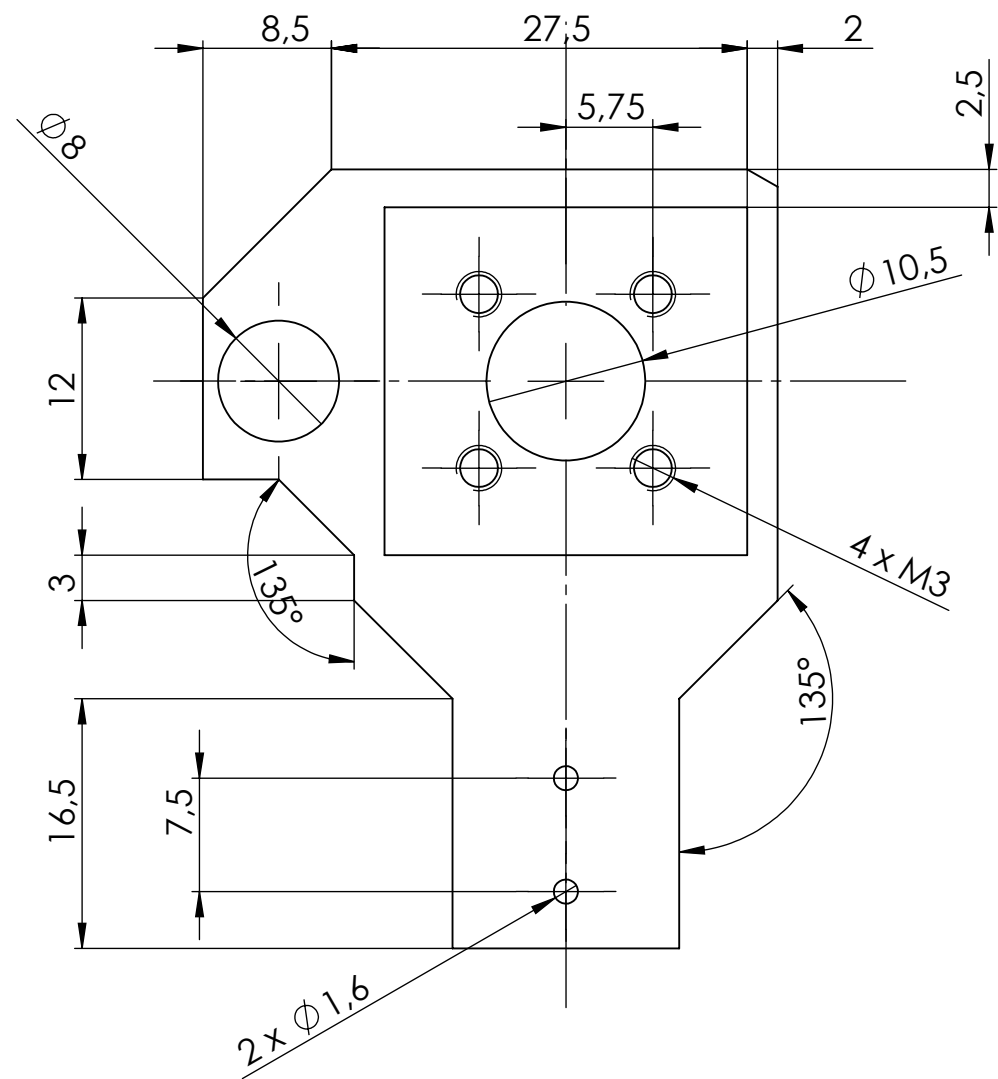
Rev.  
**1**



Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

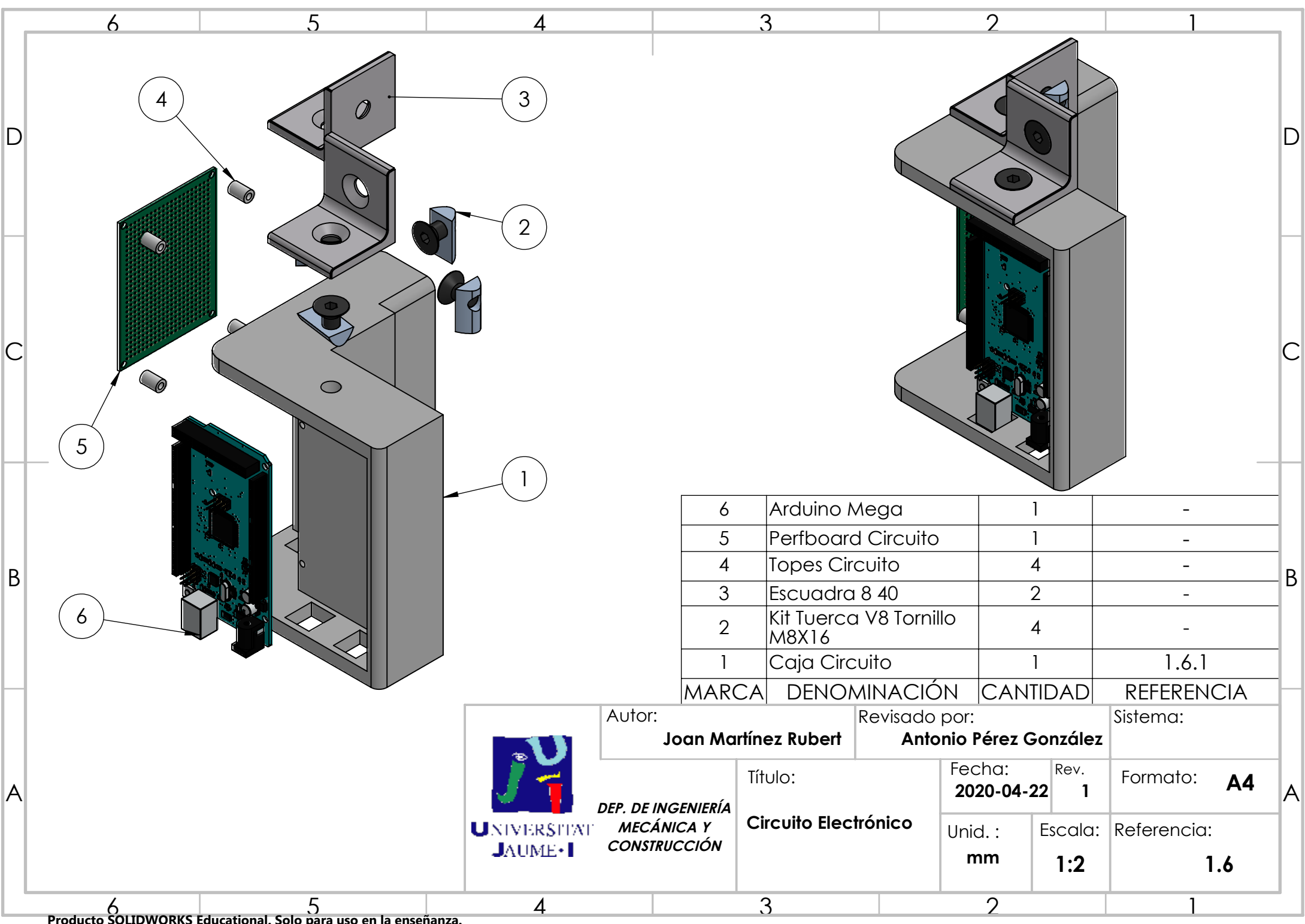
Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**1.5.2**




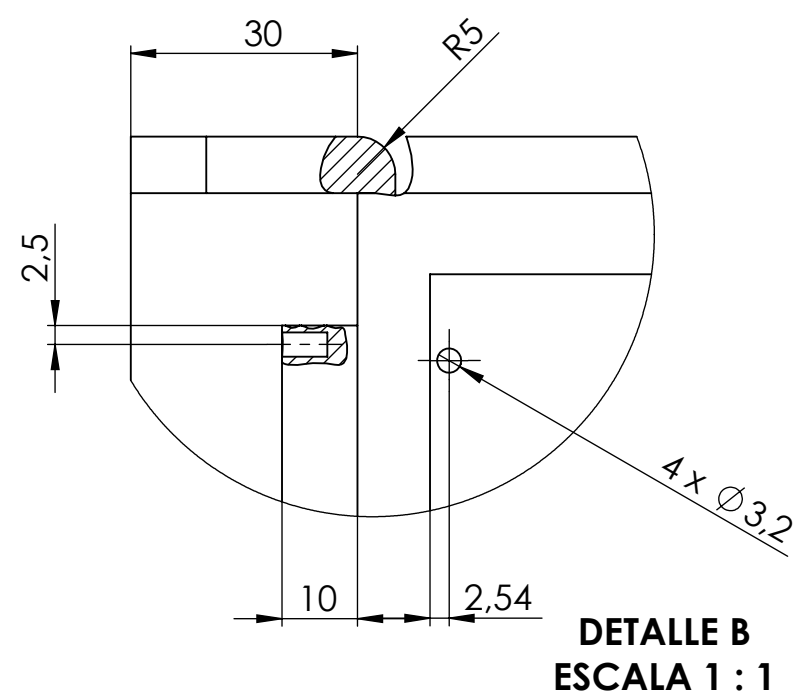
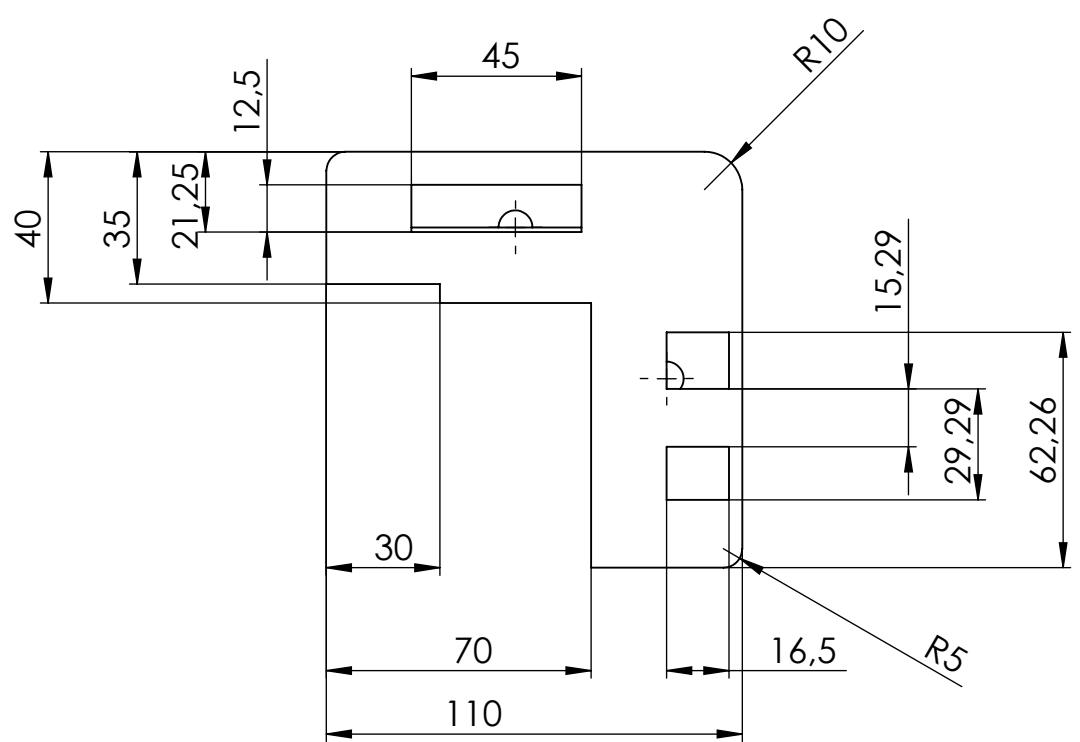
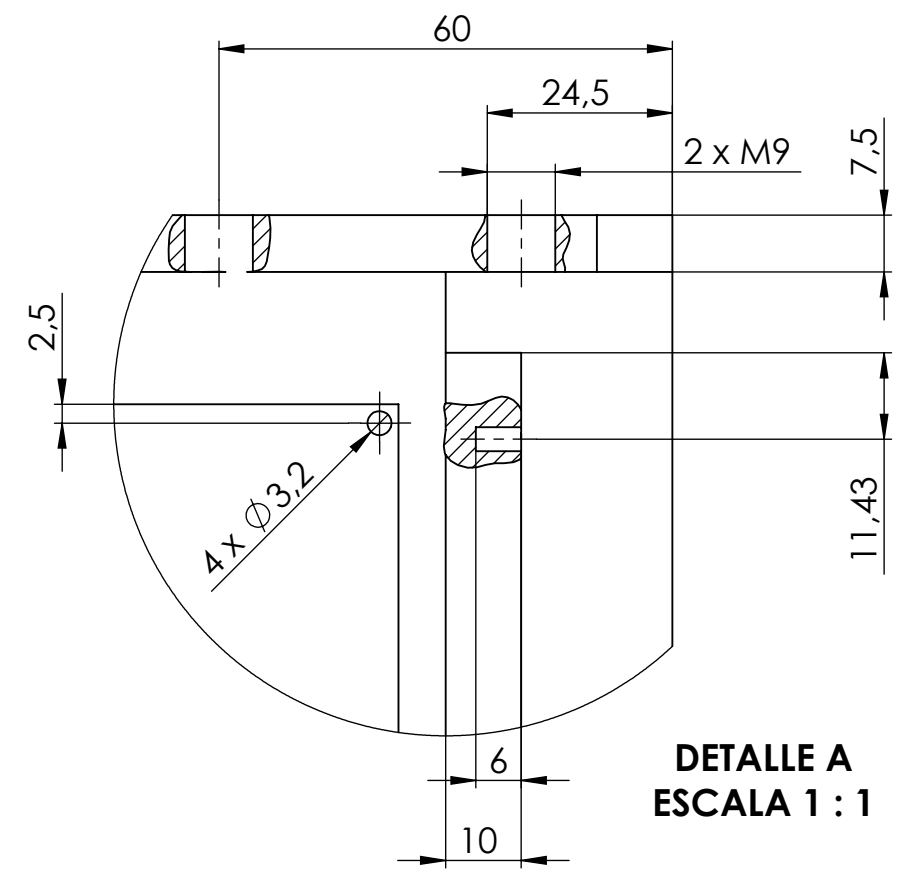
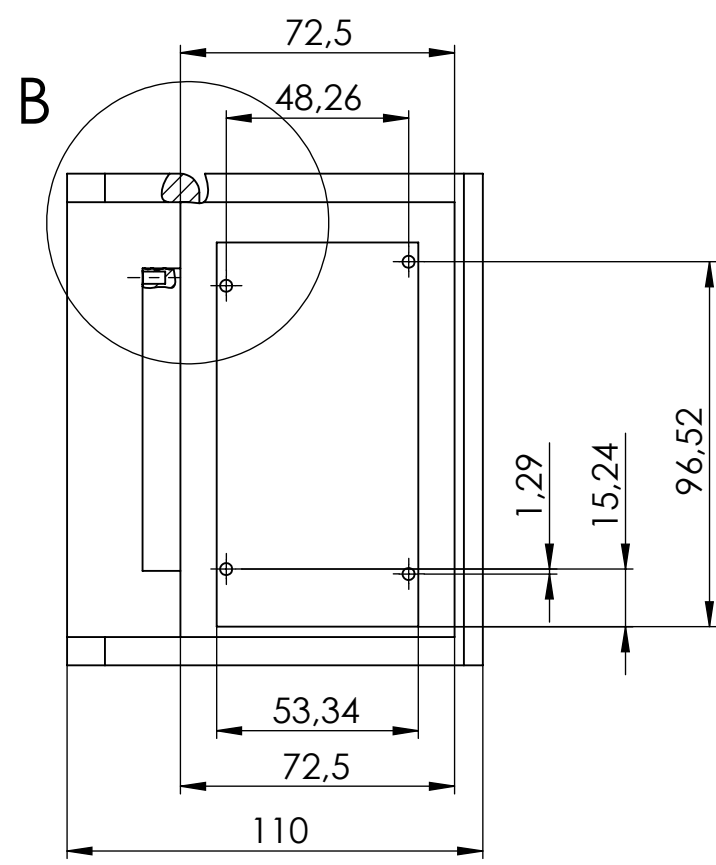
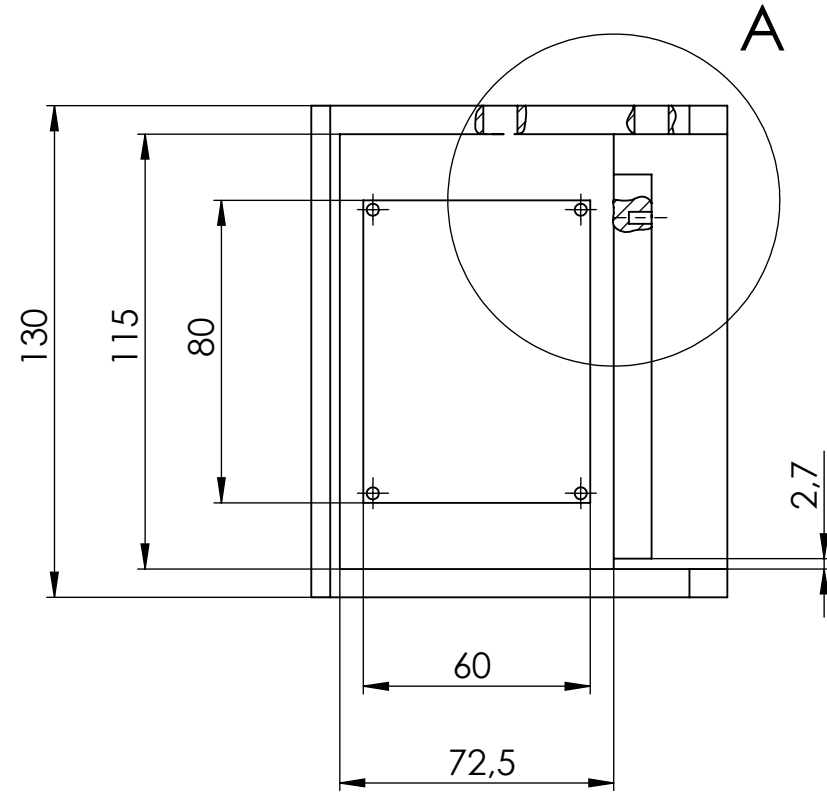
 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 	
	<i>DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN</i>	Título:  <b>Cabezal de Unión</b>	Fecha: <b>2020-04-22</b>		Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
			Unid. : <b>mm</b>		Escala: <b>2:1</b>	Referencia: <b>1.5.3</b>







6	Arduino Mega	1	-
5	Perfboard Circuito	1	-
4	Topes Circuito	4	-
3	Escuadra 8 40	2	-
2	Kit Tuerca V8 Tornillo M8X16	4	-
1	Caja Circuito	1	1.6.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

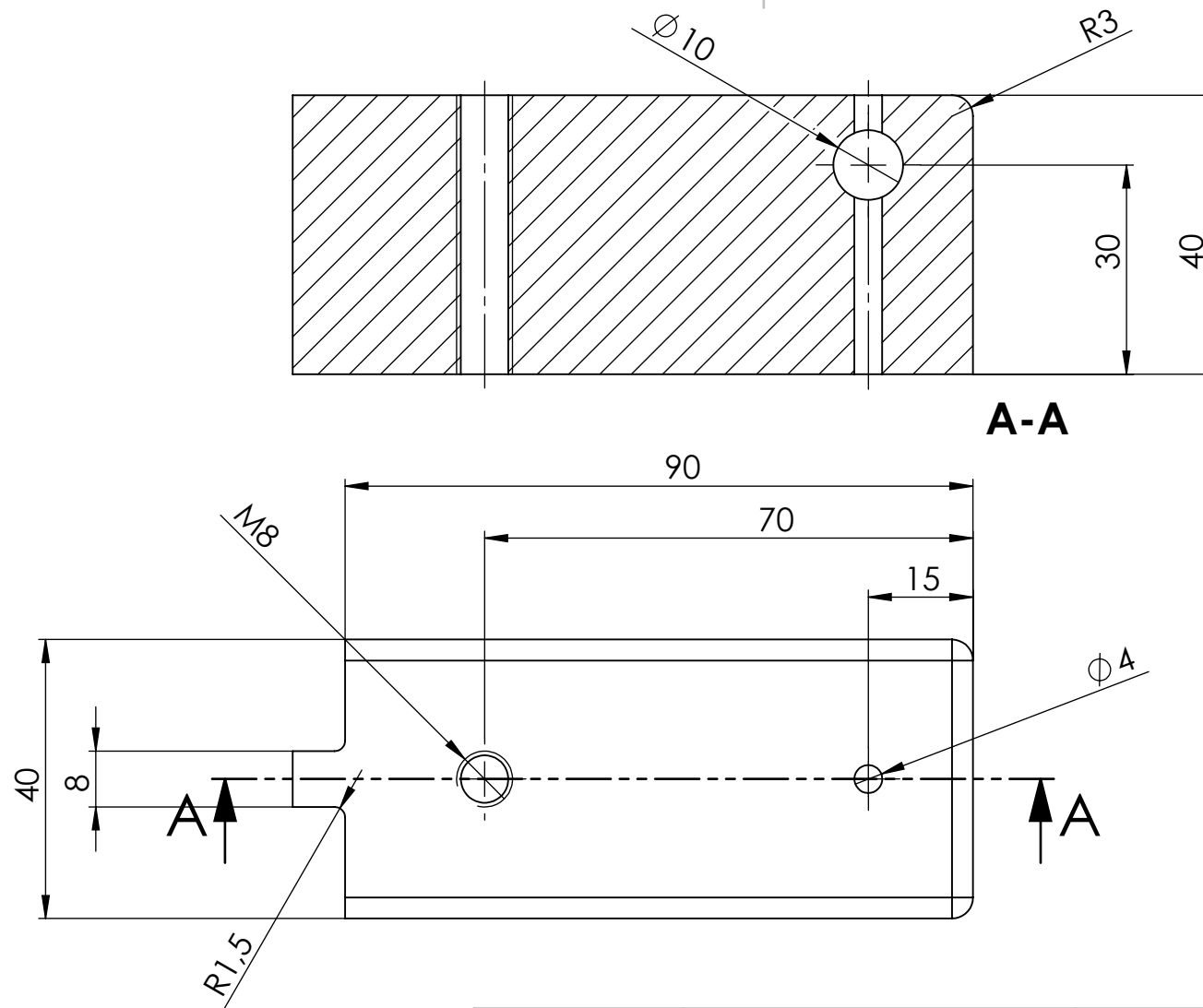
 UNIVERSITAT JAUME I DEP. DE INGENIERIA MECANICA Y CONSTRUCCION	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:	
	Título: <b>Circuito Electrónico</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato:	<b>A4</b>
			Unid. : <b>mm</b>	Escala:	Referencia:	
				<b>1:2</b>	<b>1.6</b>	


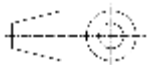


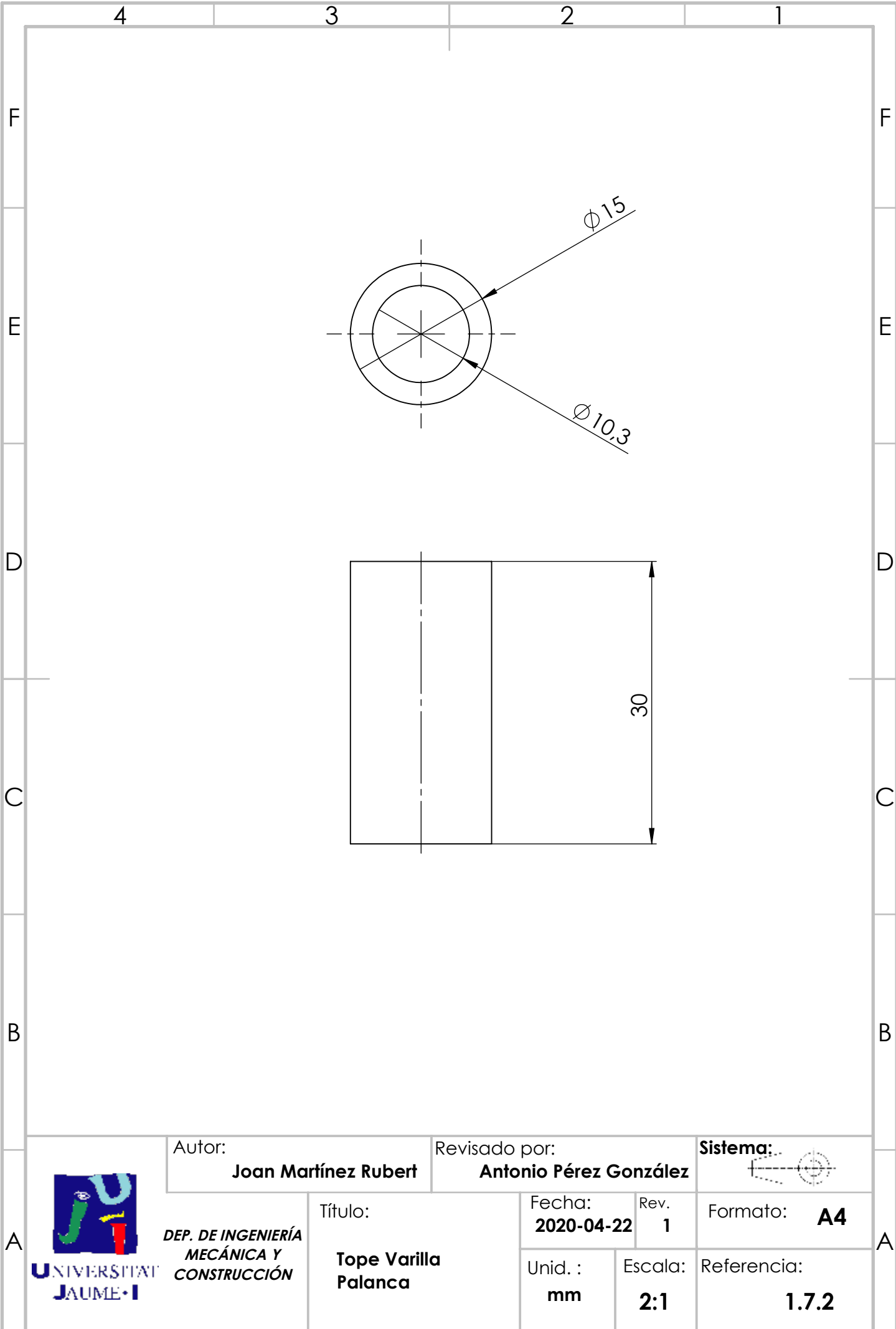
 <p>DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN</p>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 
	Título: <b>Caja Circuito</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
	Unid. : <b>mm</b>		Escala: <b>1:2</b>		Referencia: <b>1.6.1</b>







 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 
	Título: <b>Soporte Varilla Palanca</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A4</b>
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:1</b>	Referencia: <b>1.7.1</b>



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Tope Varilla  
Palanca**

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

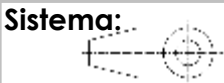
Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Rev.  
**1**

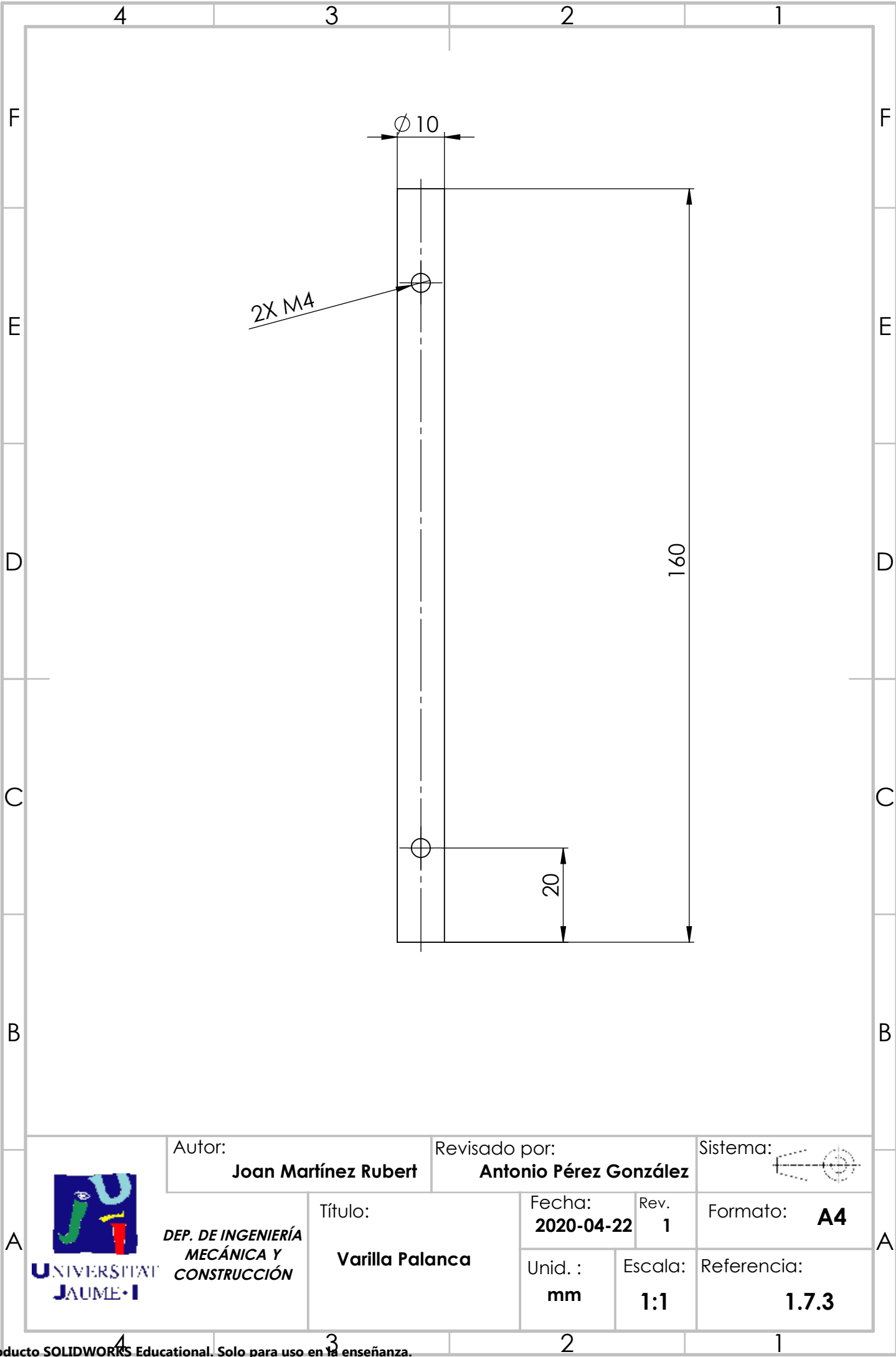
Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**



Formato: **A4**

Referencia:  
**1.7.2**



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Varilla Palanca**

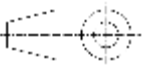
Fecha:  
**2020-04-22**

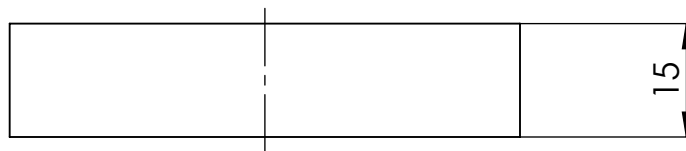
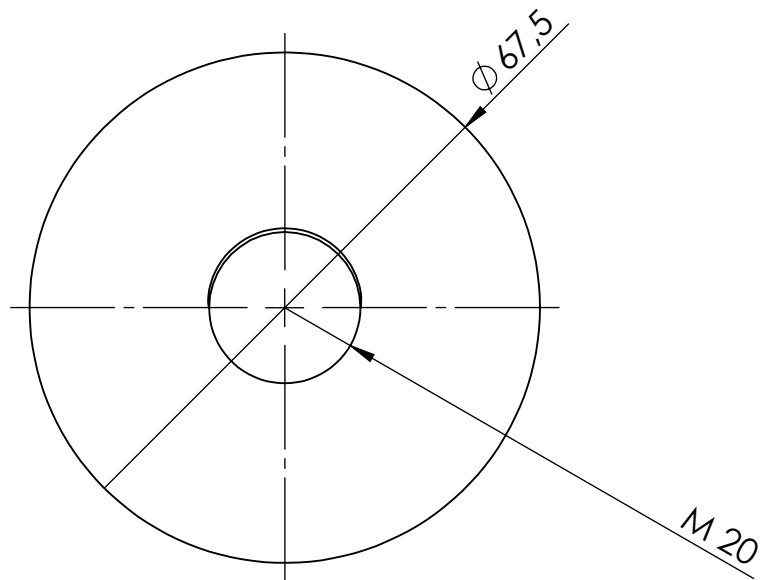
Rev.  
**1**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Formato: **A4**  
Referencia:  
**1.7.3**






UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema: 

Título:  
**Contrapeso Acero**

Fecha:  
**2020-04-22**

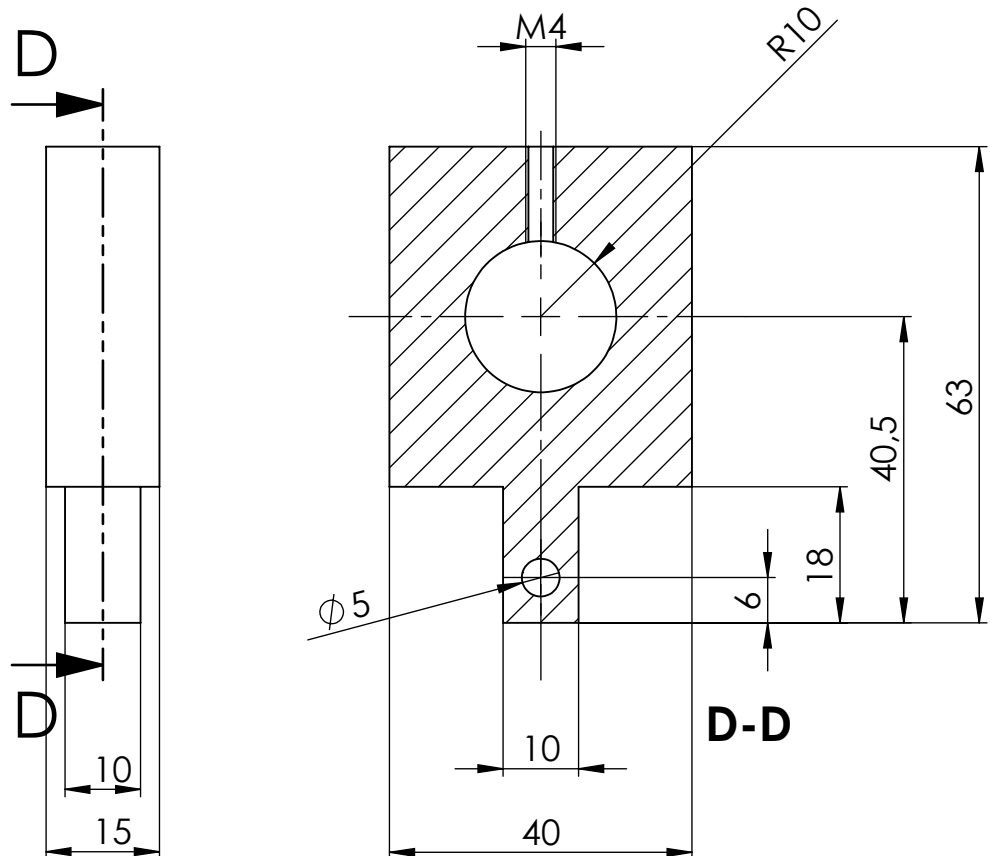
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.7.4**



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Cojinete Resistente**

Fecha:  
**2020-04-22**

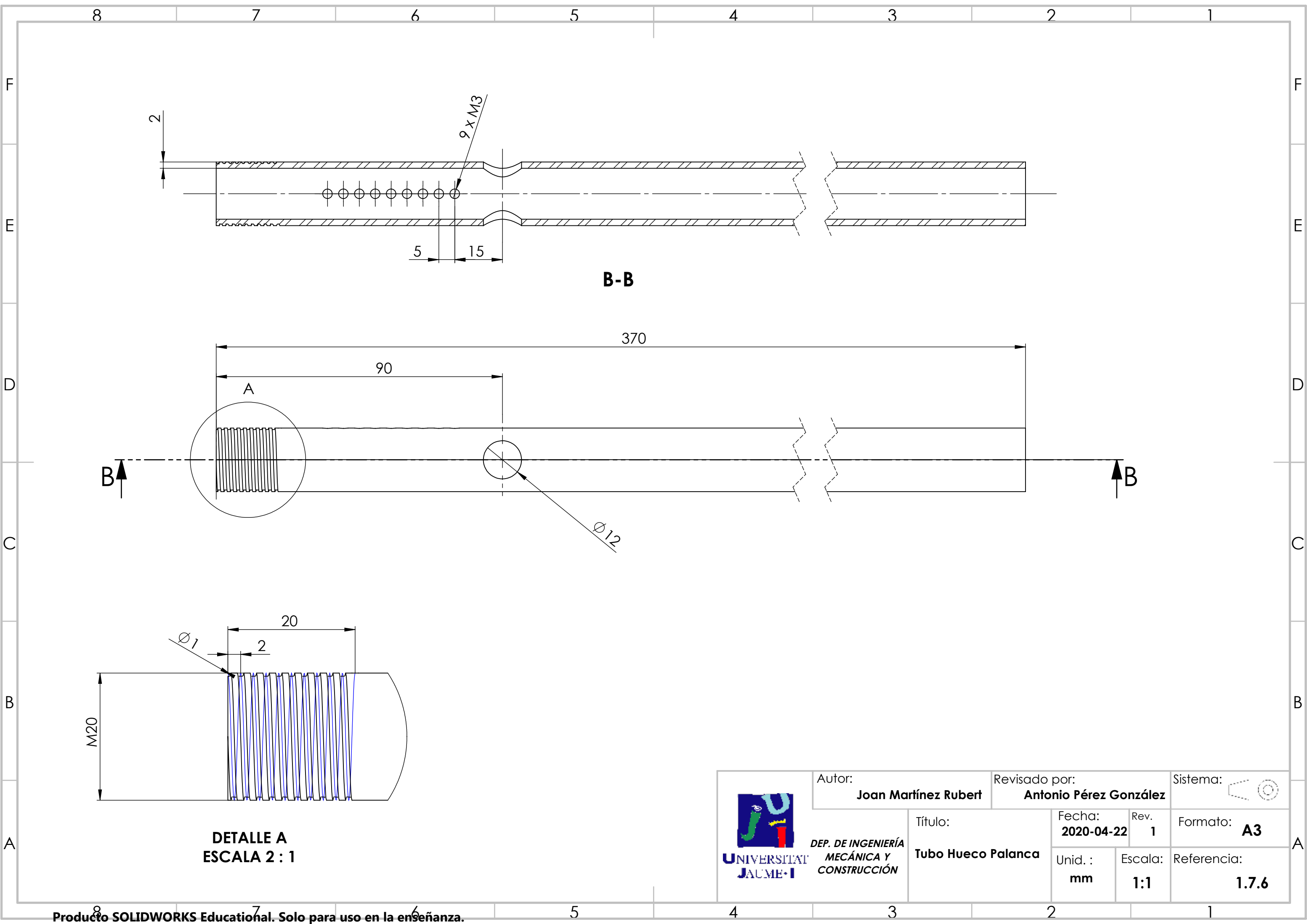
Rev.  
**1**



Formato: **A4**

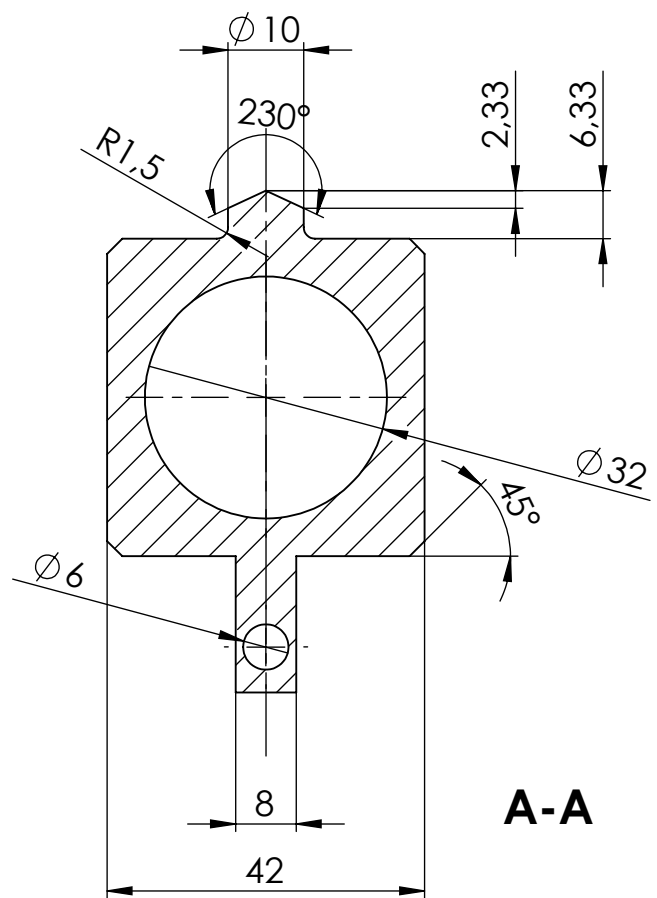
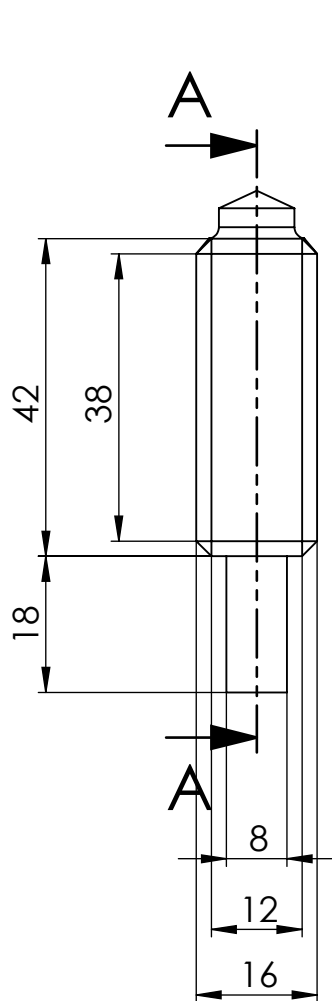
Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.7.5**



 UNIVERSITAT JAUME I	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 
	Título: <b>Tubo Hueco Palanca</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
			Unid.: <b>mm</b>	Escala: <b>1:1</b>	Referencia: <b>1.7.6</b>



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Cojinete Brazo**

Fecha:  
**2020-04-22**

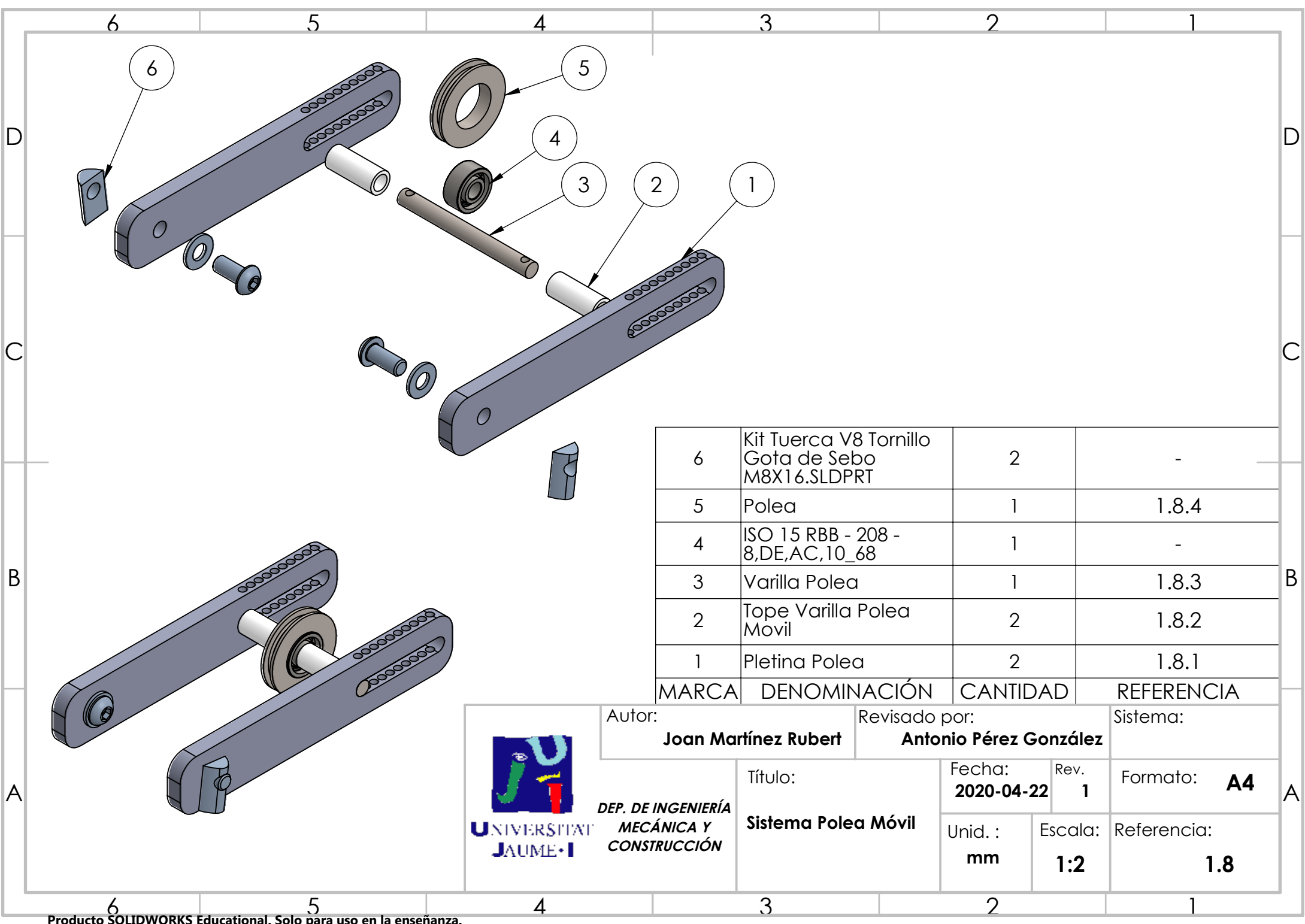
Rev.  
**1**

Formato: **A4**


Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.7.7**



6	Kit Tuerca V8 Tornillo Gota de Sebo M8X16.SLDPRT	2	-
5	Polea	1	1.8.4
4	ISO 15 RBB - 208 - 8,DE,AC,10_68	1	-
3	Varilla Polea	1	1.8.3
2	Tope Varilla Polea Movil	2	1.8.2
1	Pletina Polea	2	1.8.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA



DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN

Autor: **Joan Martínez Rubert**

Revisado por: **Antonio Pérez González**

Sistema:

Título: **Sistema Polea Móvil**

Fecha: **2020-04-22**

Rev. **1**

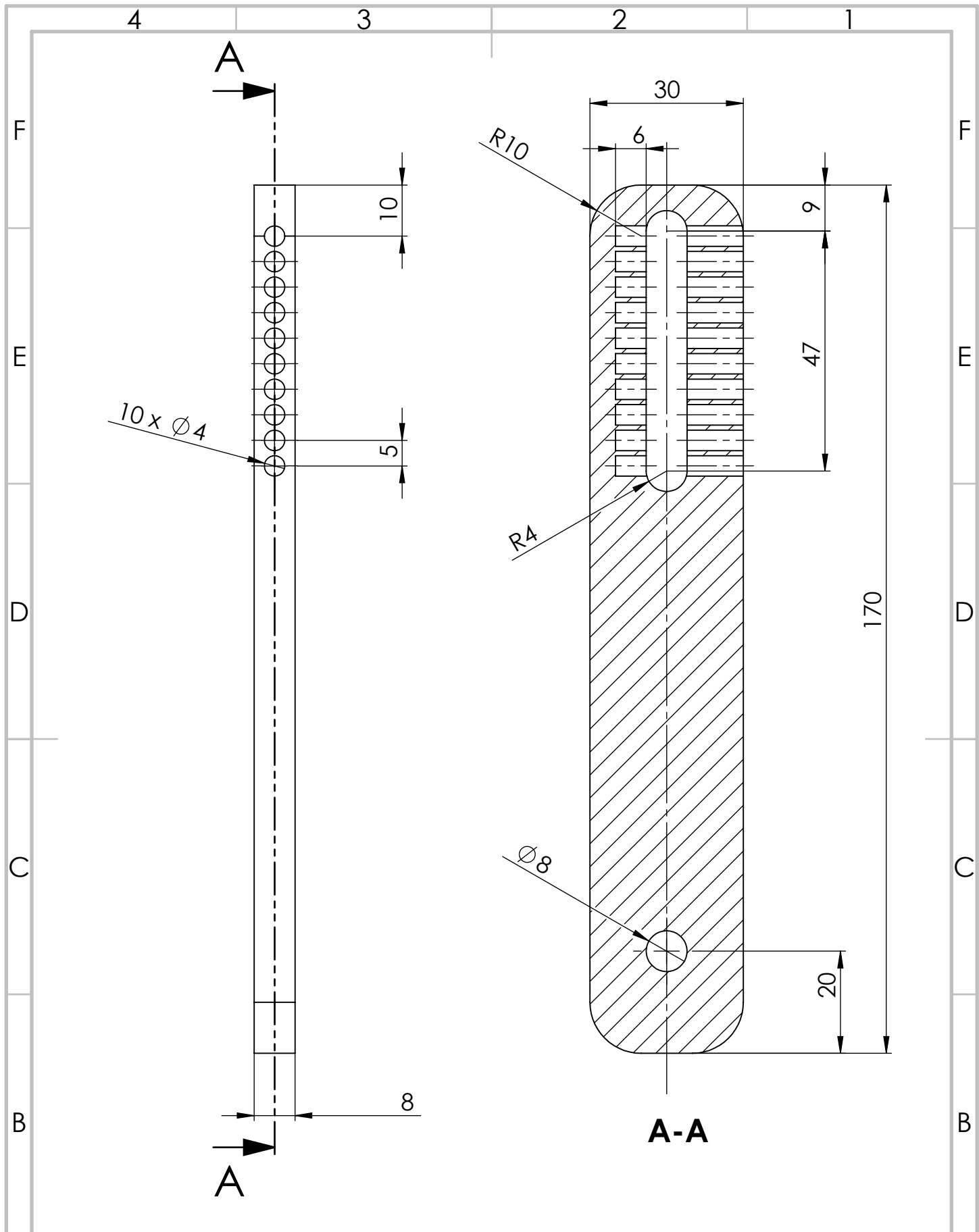
Unid. : **mm**

Escala: **1:2**

Formato: **A4**

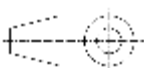
Referencia: **1.8**





Autor: **Joan Martínez Rubert**

Revisado por: **Antonio Pérez González**

Sistema: 



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Pletina Polea**

Fecha:  
**2020-04-22**

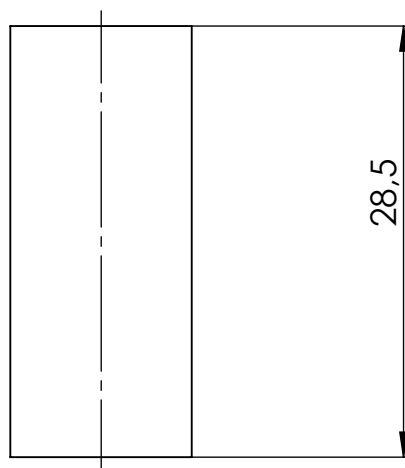
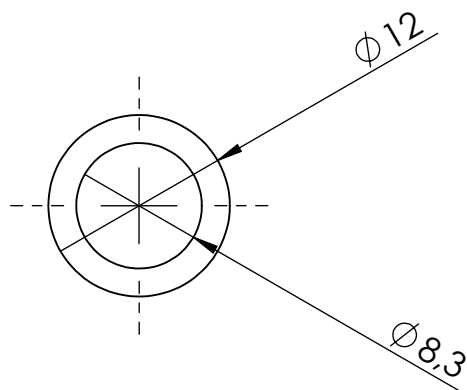
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**1.8.1**

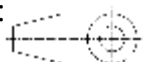


UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema: 

Título:  
**Tope Varilla  
Polea Móvil**

Fecha:  
**2020-04-22**

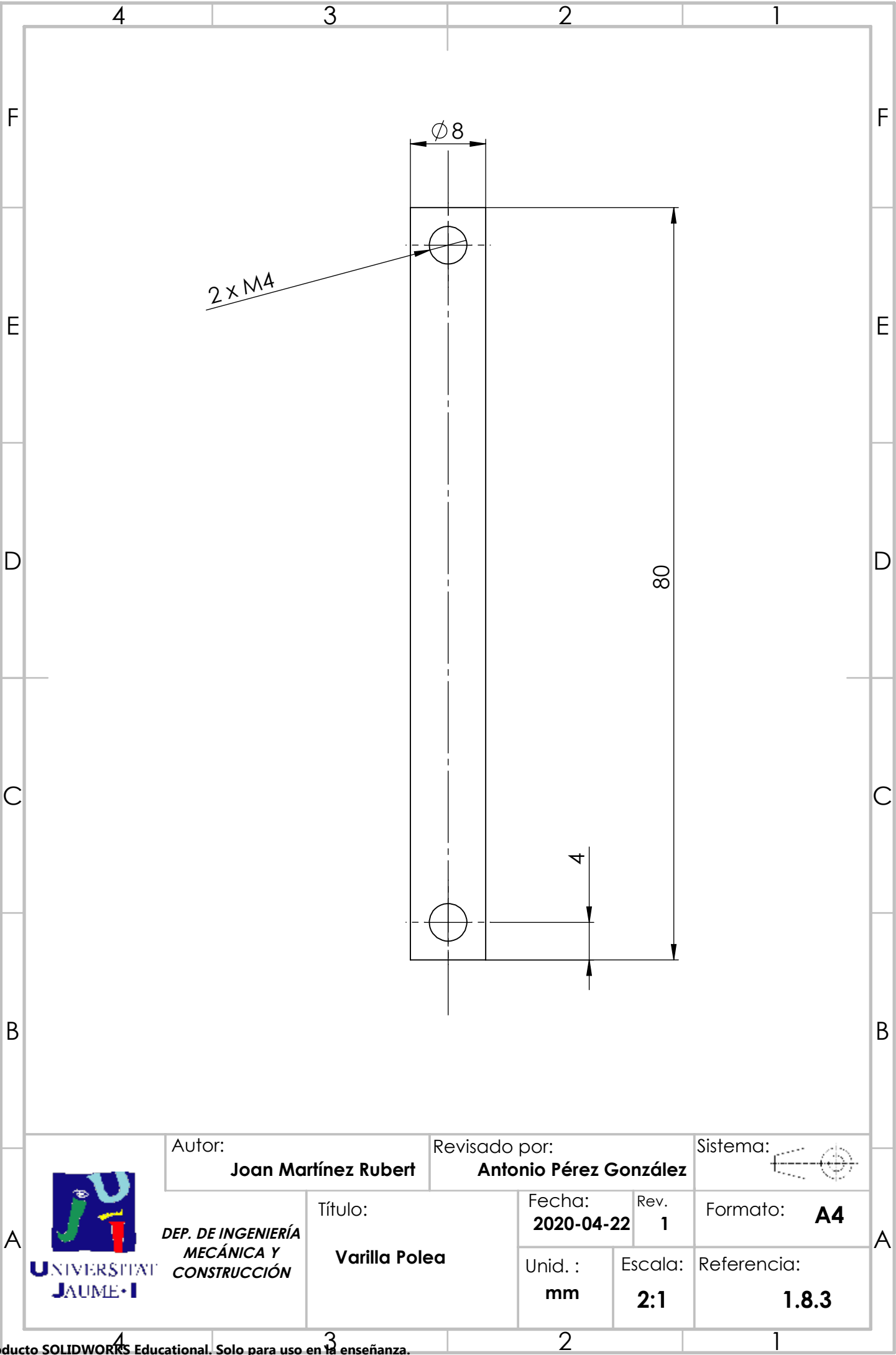
Rev.  
**1**

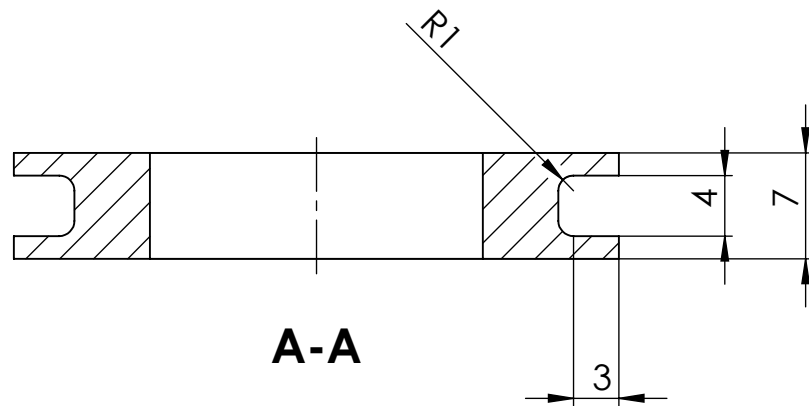
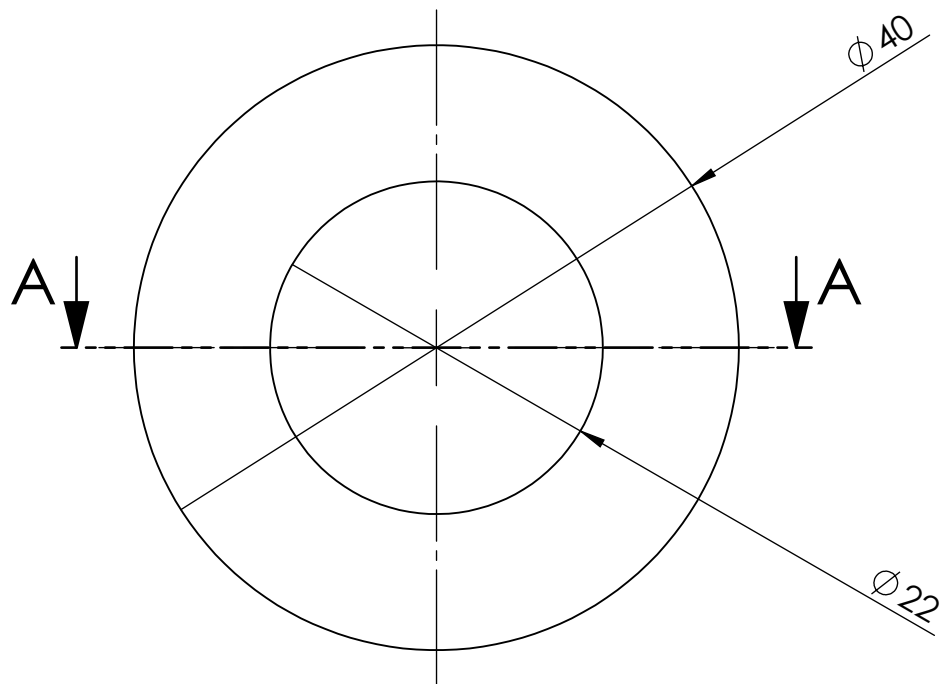
Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**1.8.2**





UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Título:  
**Polea**


Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Unid. :  
**mm**

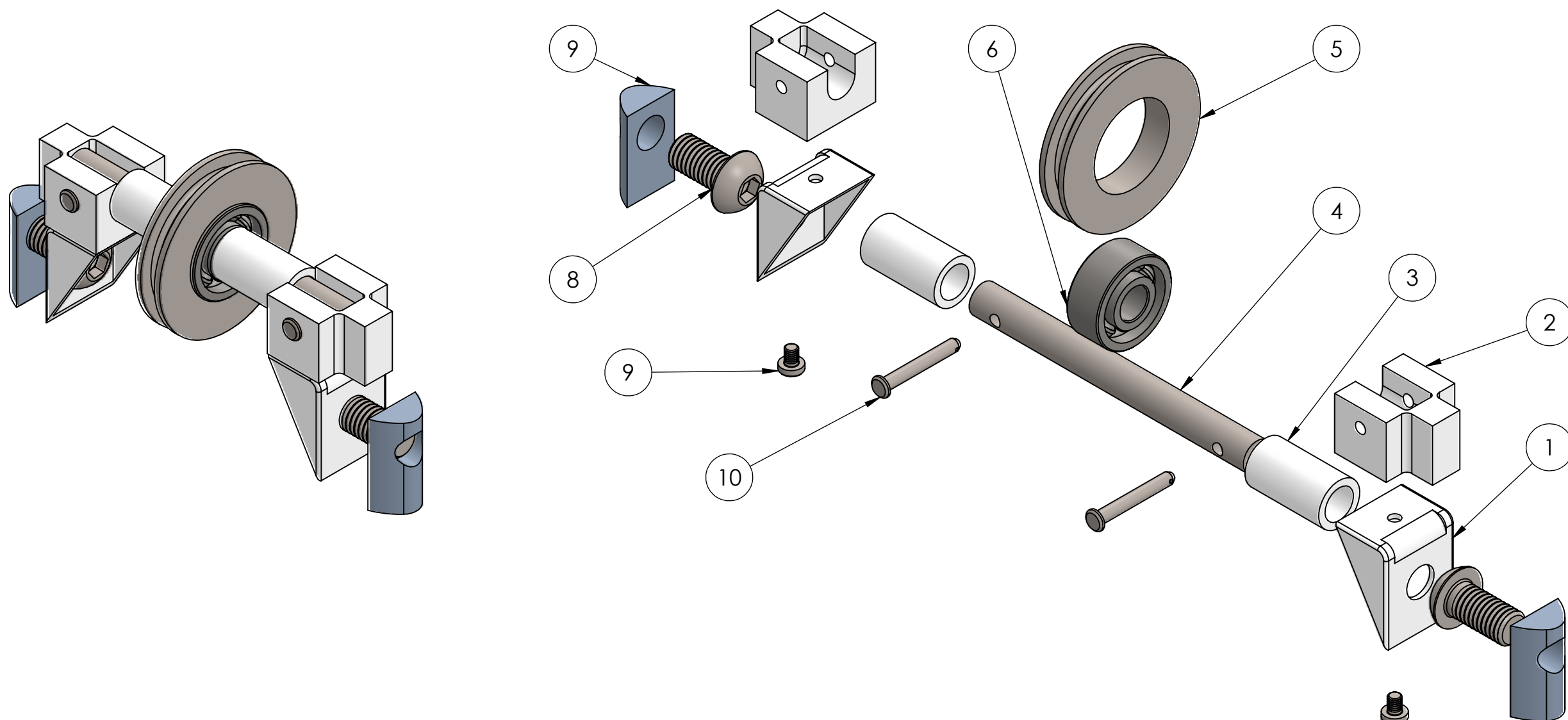
Rev.  
**1**

Escala:  
**2:1**


Sistema: 

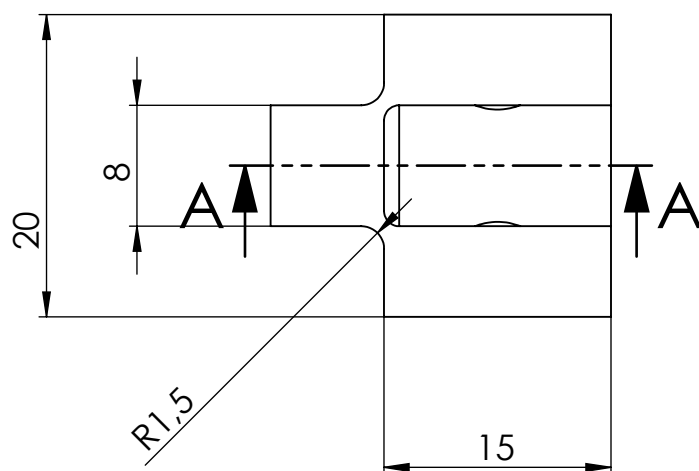
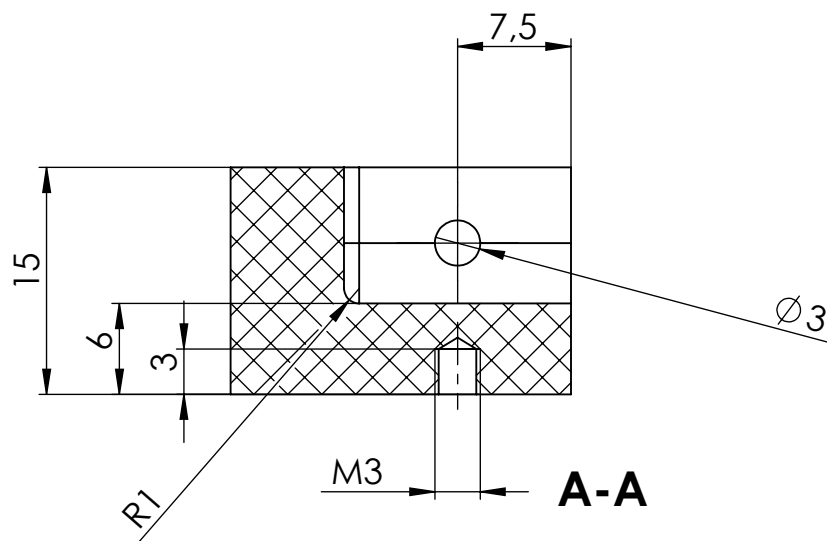
Formato: **A4**

Referencia:  
**1.8.4**



10	ISO 2341 - B - 3 x 22 x .8 - St	2	-
9	Tuerca V8 ST M8	2	-
9	ISO 7045 - M3 x 4 - Z - 4S	2	-
8	ISO 7380 - M8 x 16 - 16S	2	-
6	ISO 15 RBB - 208 - 8,DE,AC,10_68	1	-
5	Polea	1	1.8.4
4	Varilla Polea Fija	1	1.9.3
3	Tope Varilla Polea Fija	2	1.9.2
2	Soporte Apoyo Varilla	2	1.9.1
1	Escuadra	2	1.3.3
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:	
	DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN	Título:  <b>Sistema Polea Fijo</b>	Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>	
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:1</b>	Referencia: <b>1.9</b>	



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Soporte Apoyo  
Varilla**

Fecha:  
**2020-04-22**

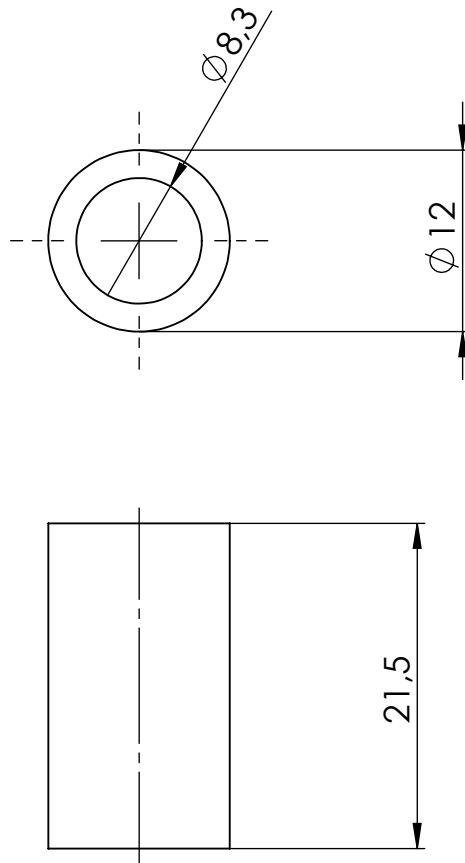
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**1.9.1**



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Título:  
**Tope Varilla  
Polea Fija**


Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Rev.  
**1**

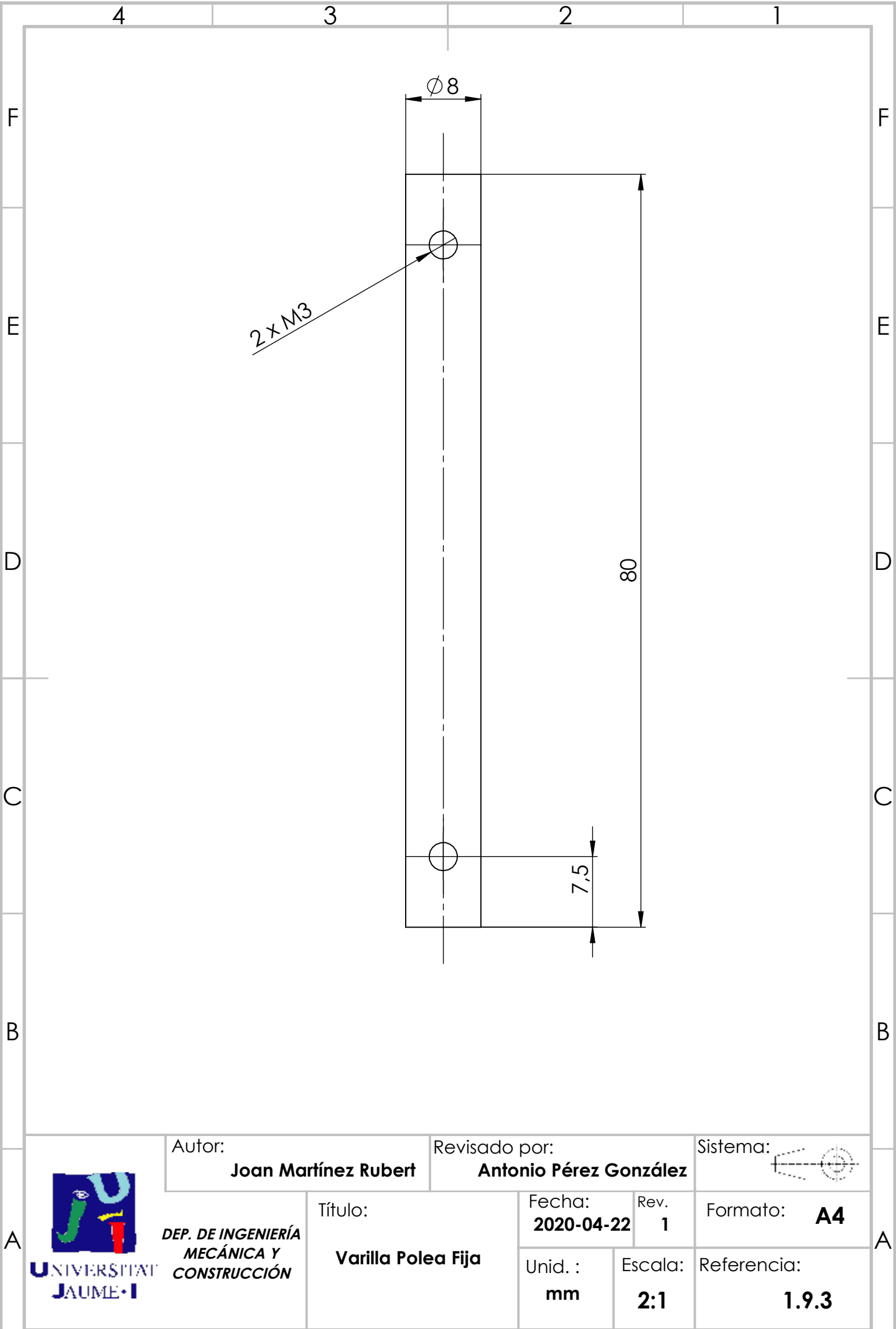
Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

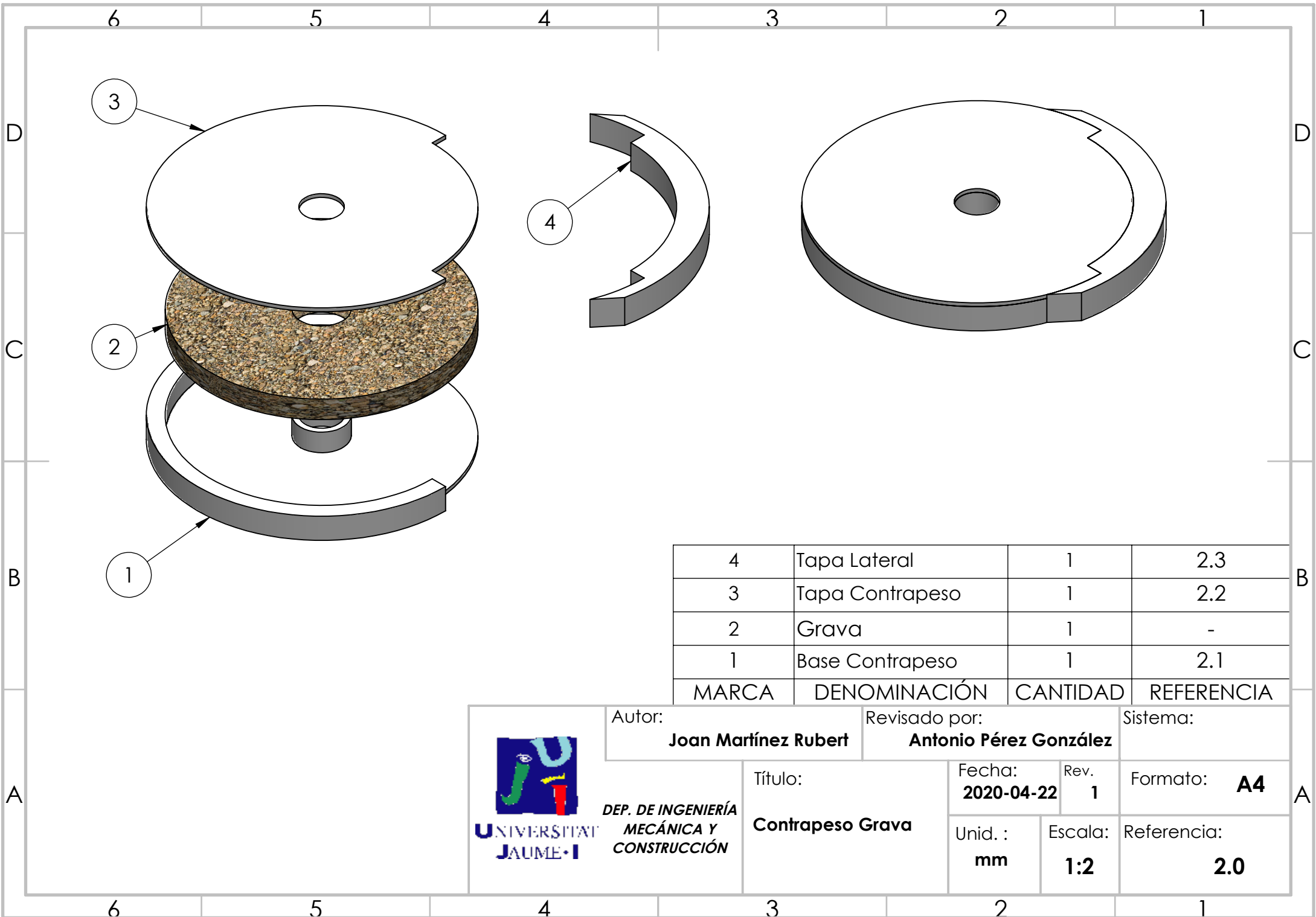
Sistema: 

Formato: **A4**


Referencia:  
**1.9.2**

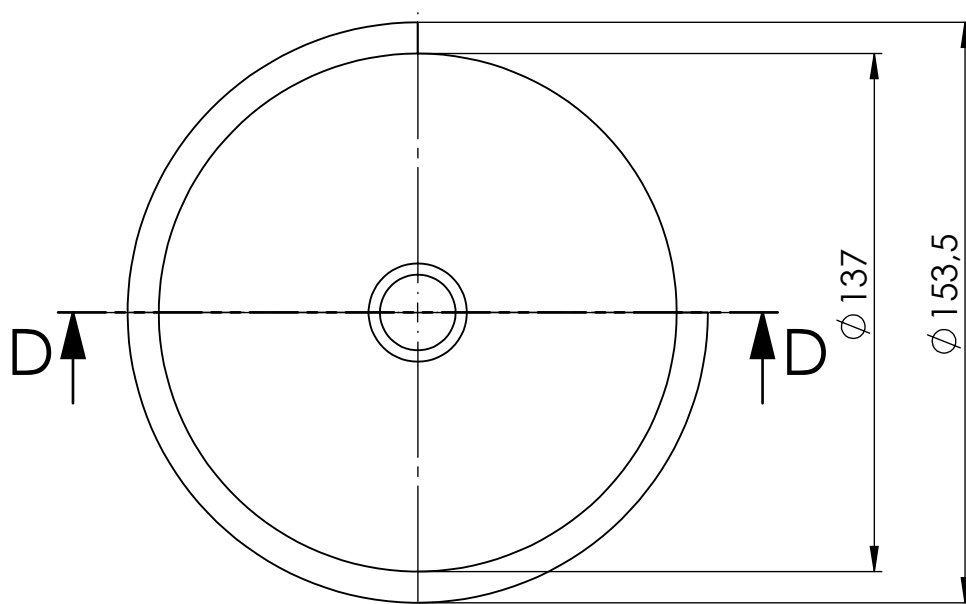
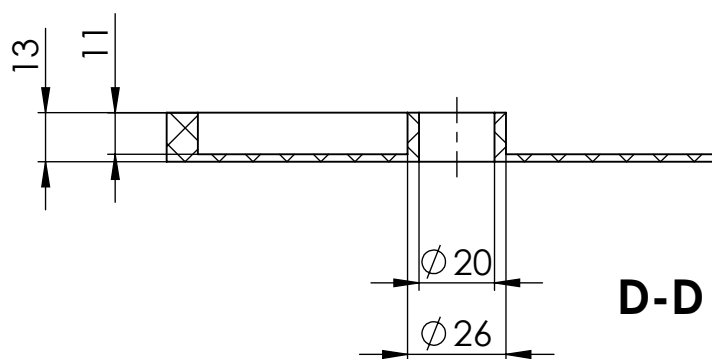






4	Tapa Lateral	1	2.3
3	Tapa Contrapeso	1	2.2
2	Grava	1	-
1	Base Contrapeso	1	2.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 UNIVERSITAT JAUME I DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:	
	Título: <b>Contrapeso Grava</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato:	<b>A4</b>
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:2</b>	Referencia:	<b>2.0</b>



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Base Contrapeso**

Fecha:  
**2020-04-22**

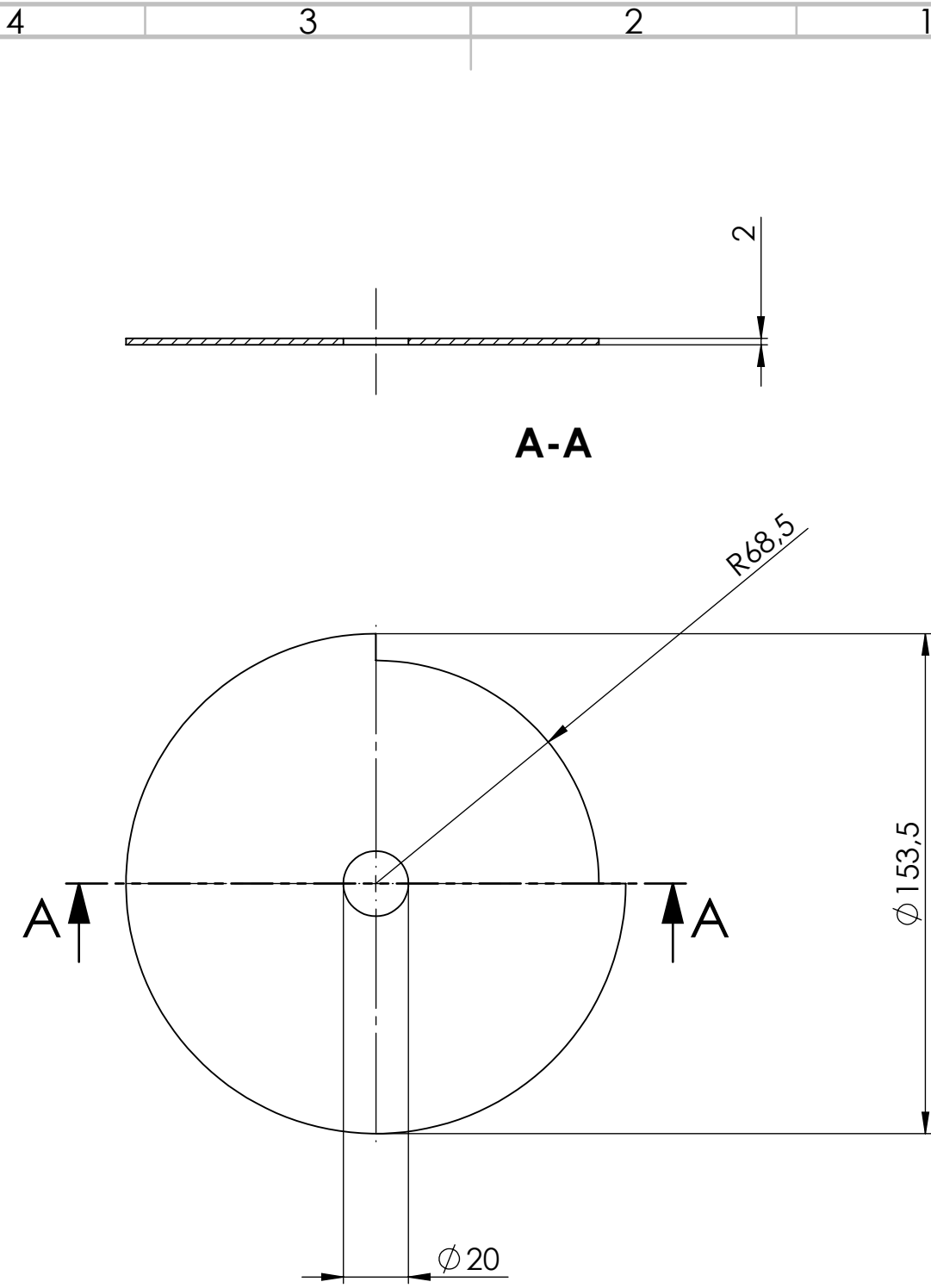
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Referencia:  
**2.1**



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Tapa Contrapeso**

Fecha:  
**2020-04-22**

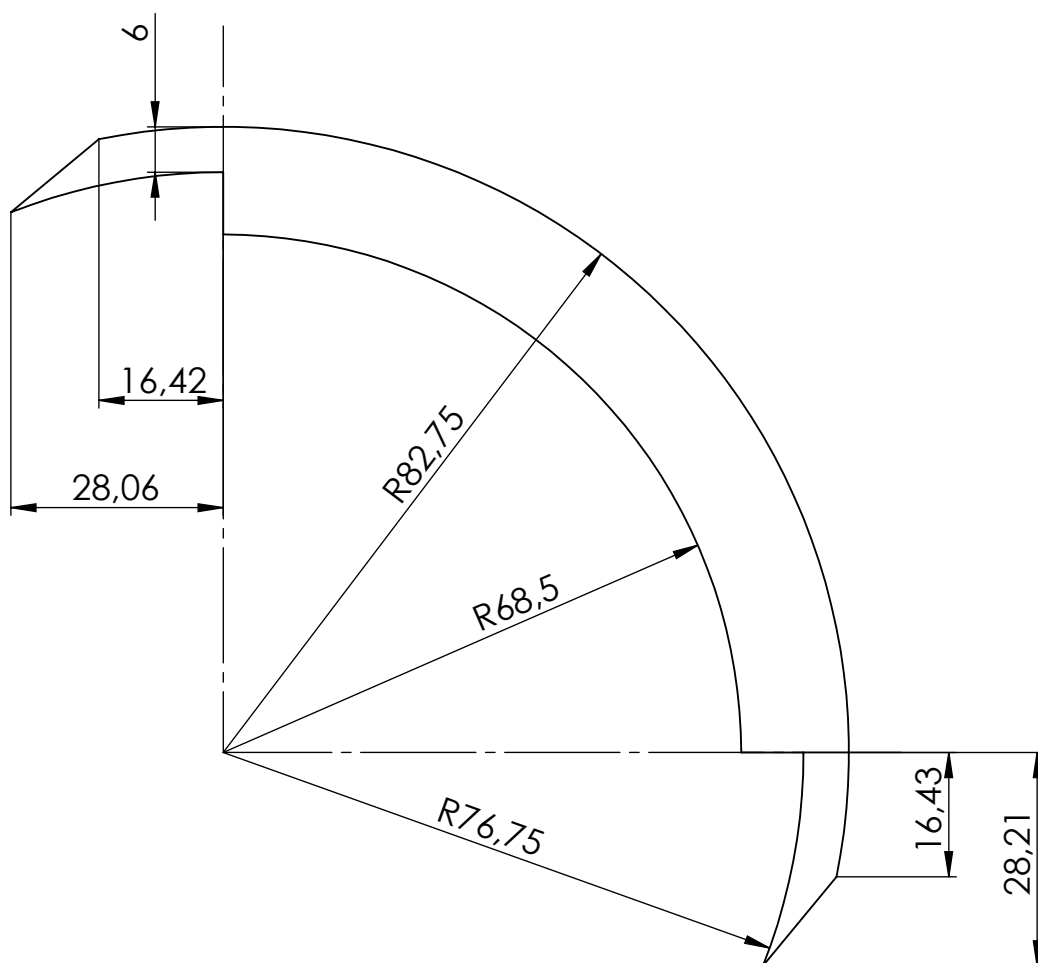
Rev.  
**1**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Formato: **A4**  
Referencia:  
**2.2**





UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Tapa Lateral**

Fecha:  
**2020-04-22**

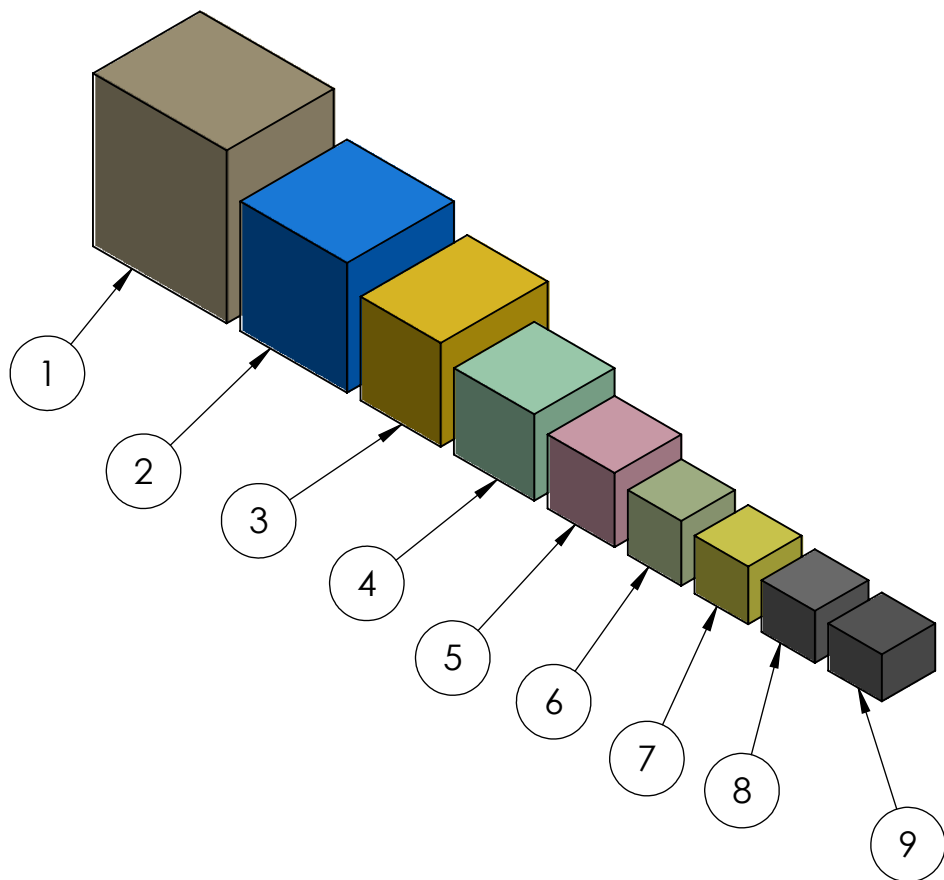
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**2.3**



9	Pieza Posición 9	1	3.9
8	Pieza Posición 8	1	3.8
7	Pieza Posición 7	1	3.7
6	Pieza Posición 6	1	3.6
5	Pieza Posición 5	1	3.5
4	Pieza Posición 4	1	3.4
3	Pieza Posición 3	1	3.3
2	Pieza Posición 2	1	3.2
1	Pieza Posición 1	1	3.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:

**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:

**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:

**Set de Bloques  
de Posición**

Fecha:  
**2020-04-22**

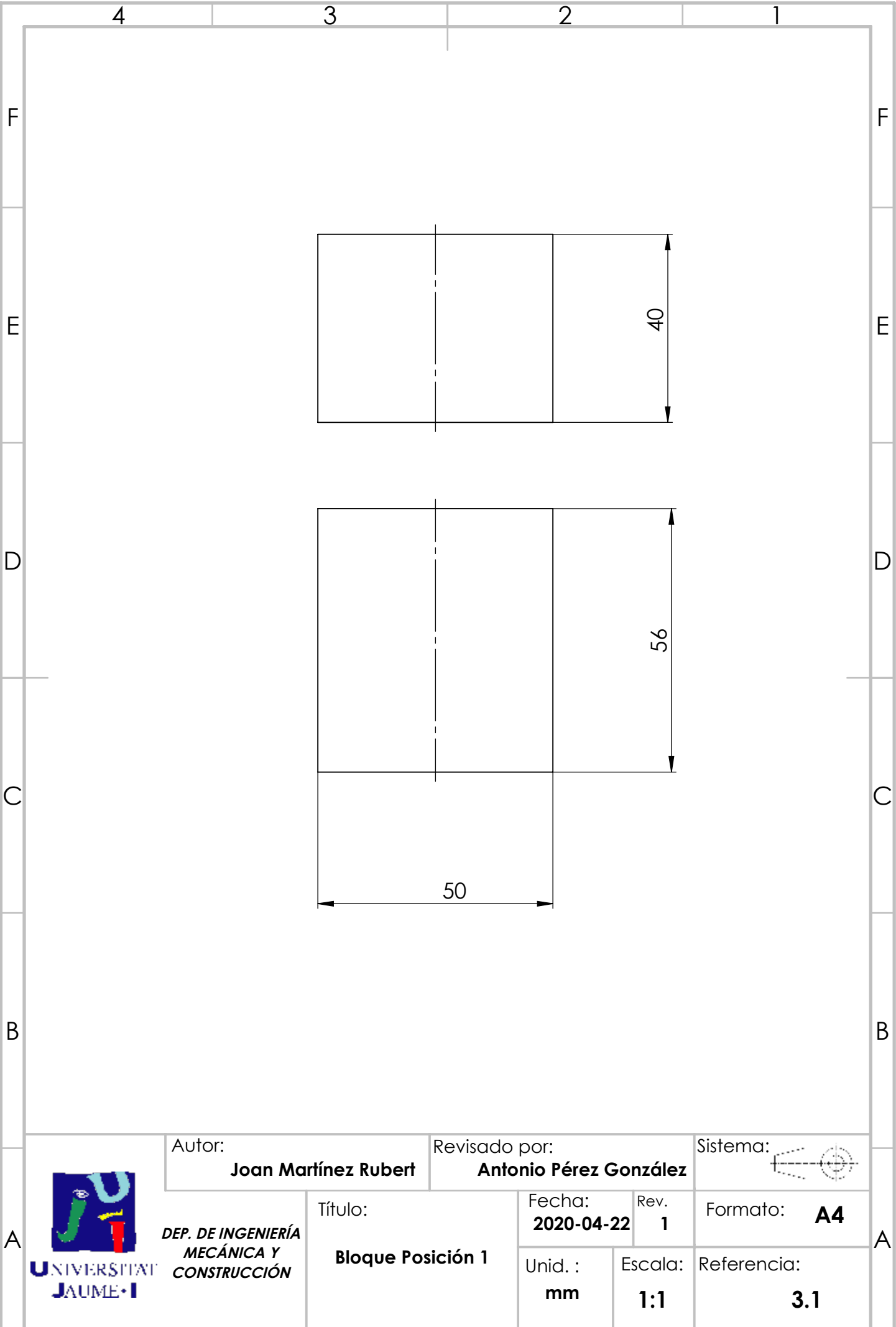
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Referencia:  
**3.0**



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Bloque Posición 1**

Fecha:  
**2020-04-22**

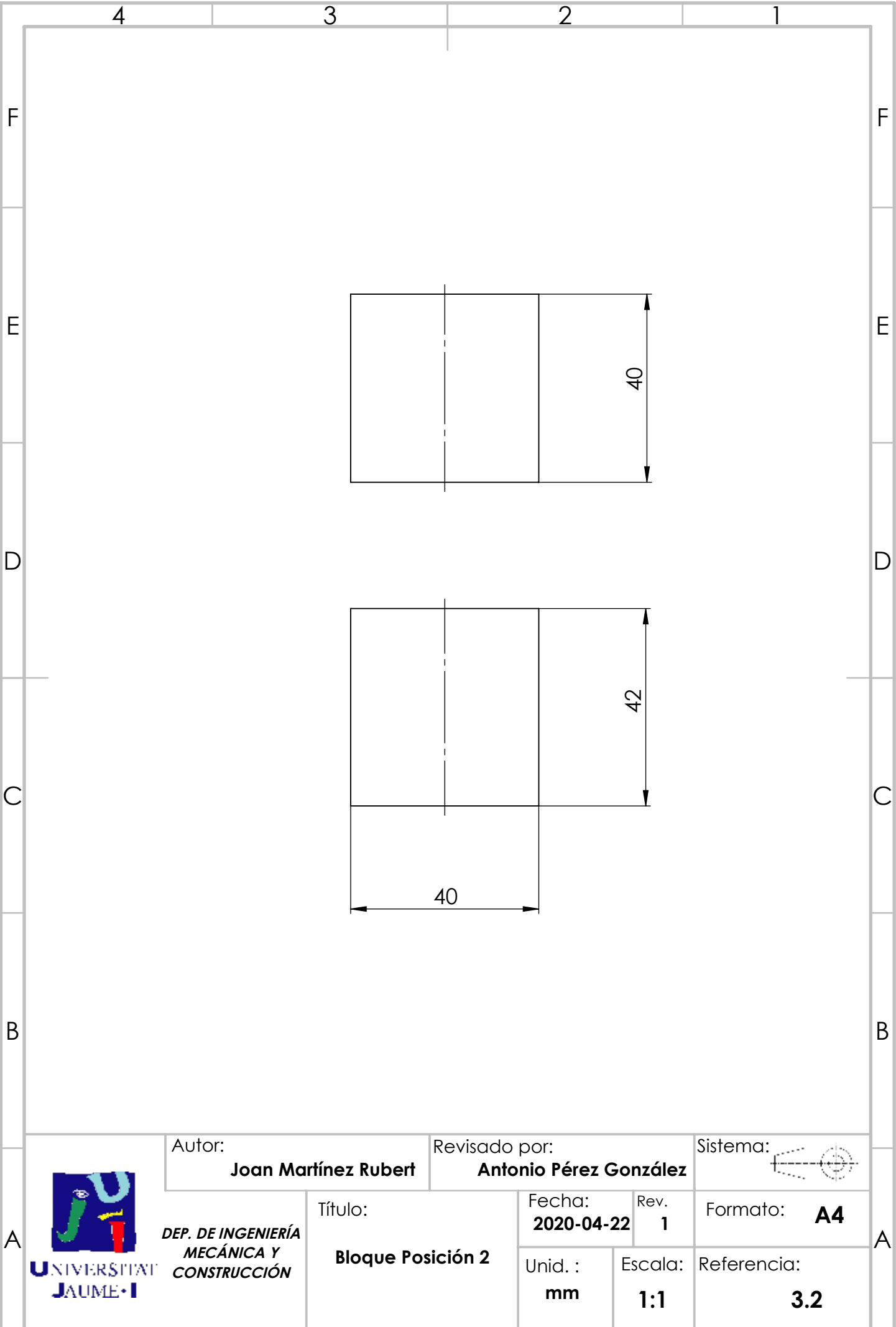
Rev.  
**1**

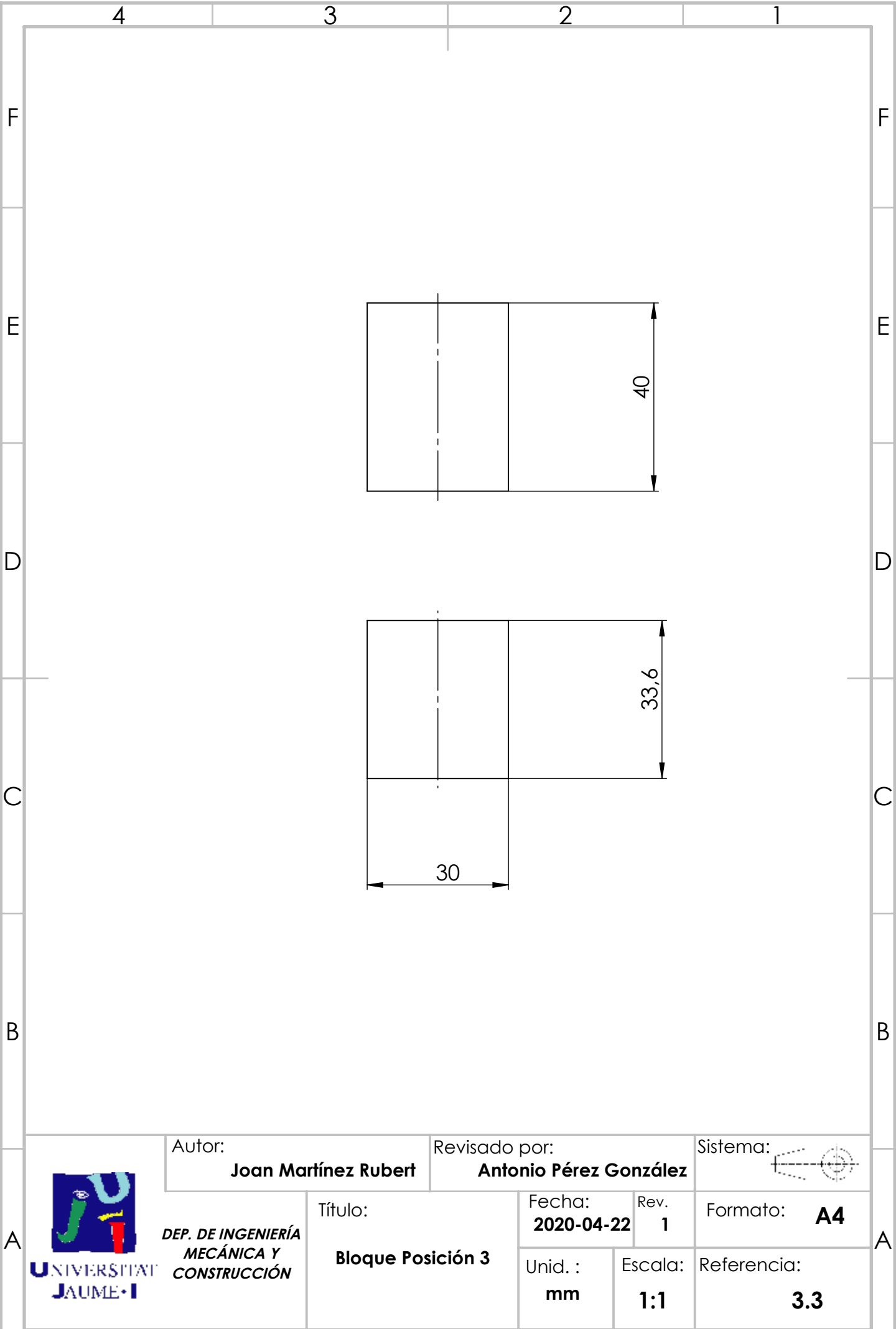
Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

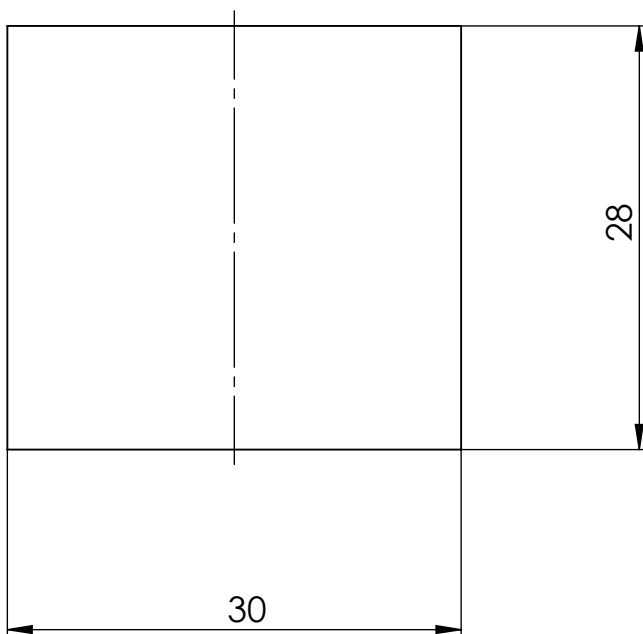
Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**3.1**



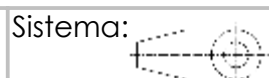






Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**



Título:

**Bloque Posición 4**

Fecha:  
**2020-04-22**


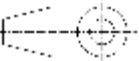
Rev. 1

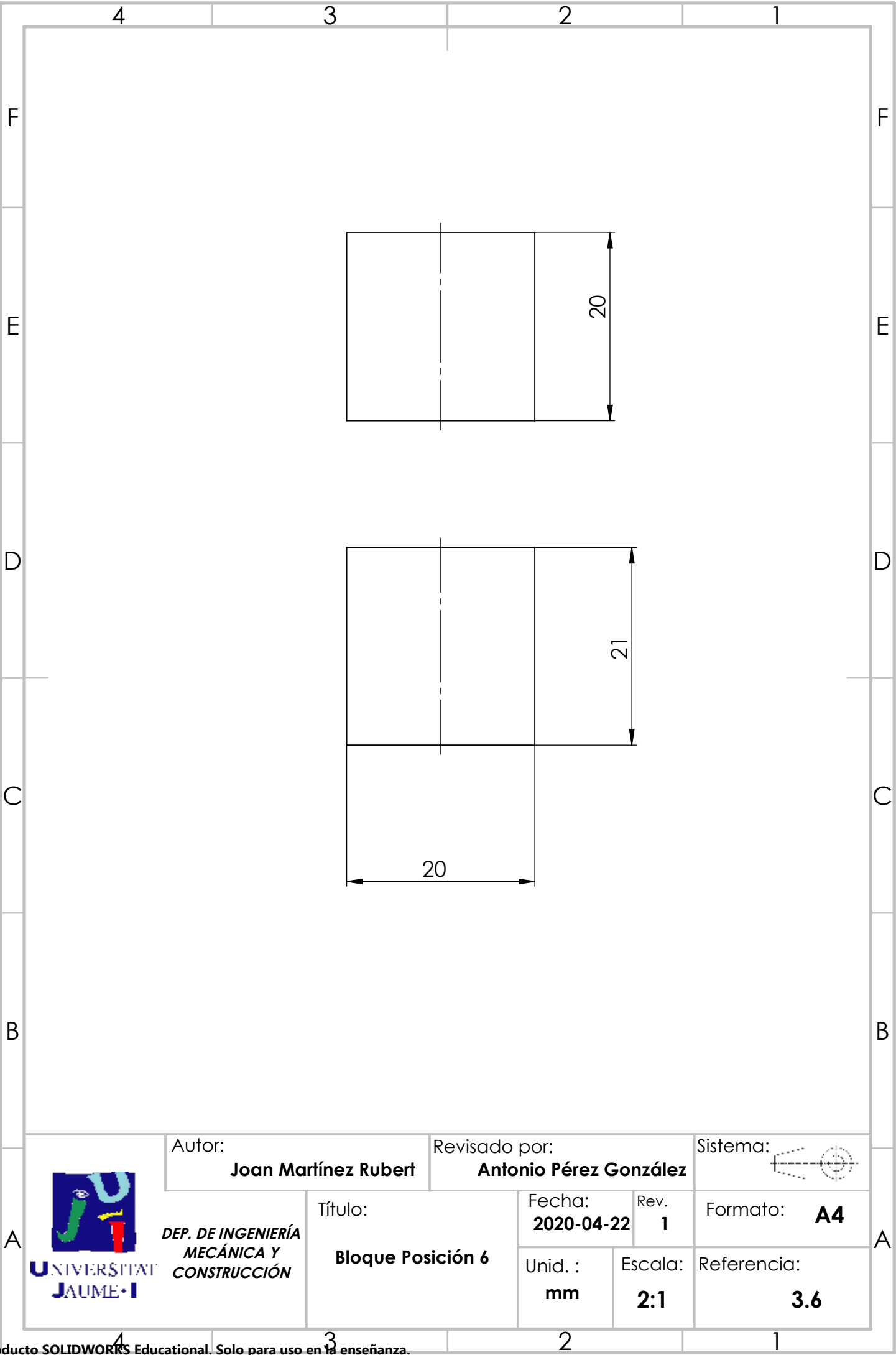
Formato: **A4**

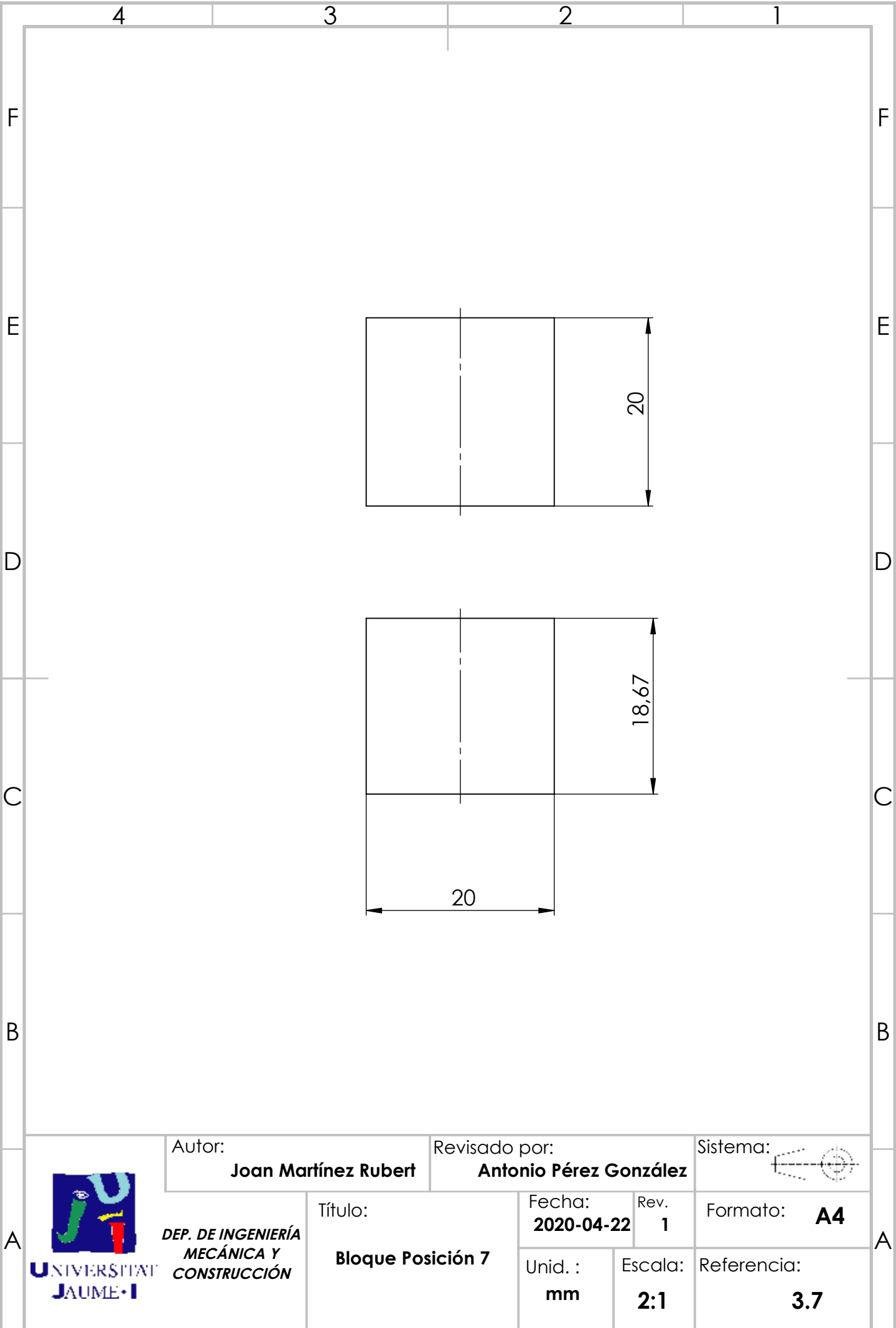
Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**3.4**

	4	3	2	1					
F					F				
E					E				
D					D				
C					C				
B					B				
A					A				
 UNIVERSITAT JAUME I		Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 			
DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN		Título: <b>Bloque Posición 5</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>		Rev. <b>1</b>		Formato: <b>A4</b>	
				Unid. : <b>mm</b>		Escala: <b>2:1</b>		Referencia: <b>3.5</b>	





DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

Título:  
**Bloque Posición 7**

Fecha:  
**2020-04-22**

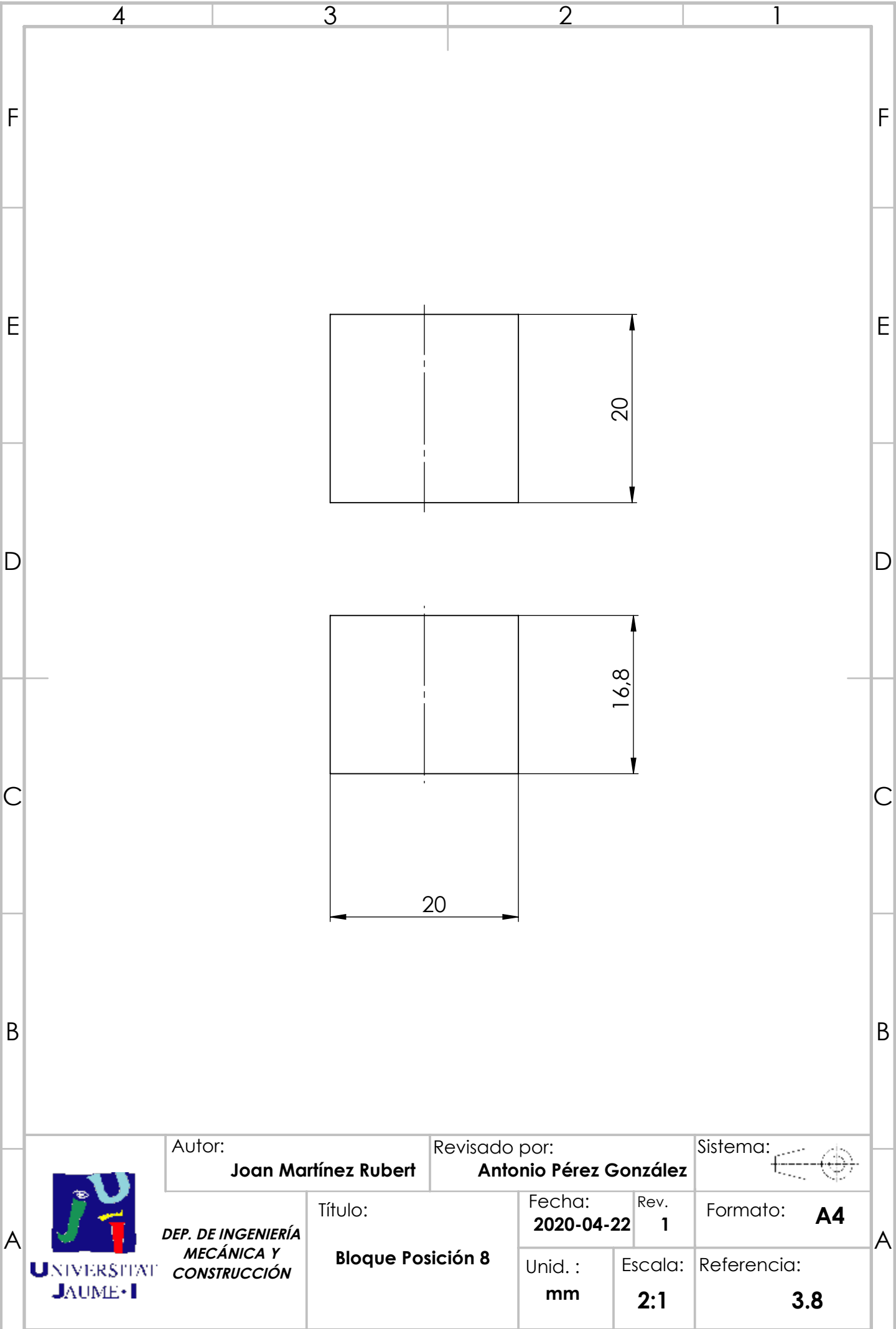
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**3.7**




UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema: 

Título:  
**Bloque Posición 8**

Fecha:  
**2020-04-22**

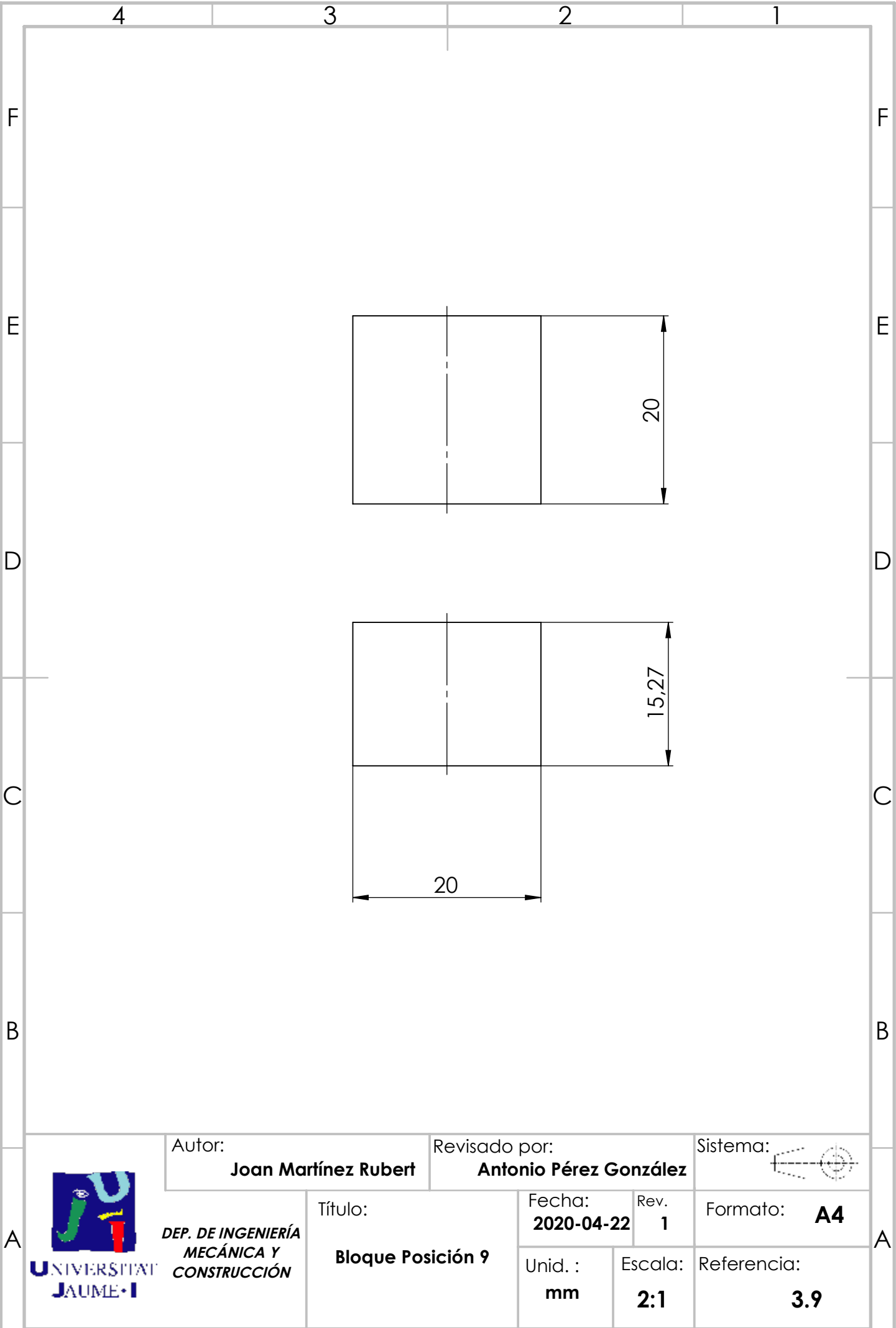
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**3.8**



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Bloque Posición 9**

Fecha:  
**2020-04-22**

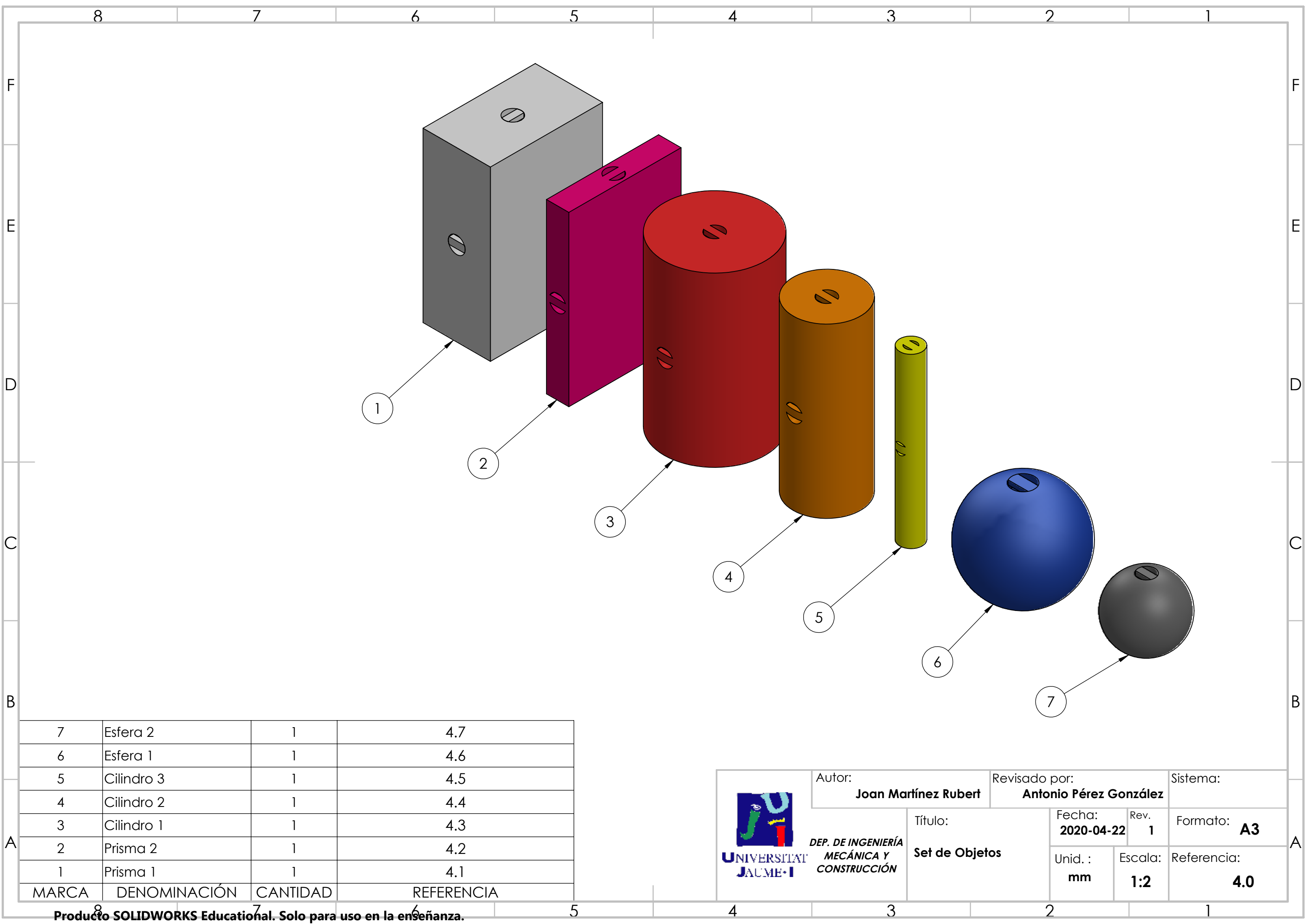
Rev.  
**1**

Formato: **A4**


Unid. :  
**mm**

Escala:  
**2:1**

Referencia:  
**3.9**

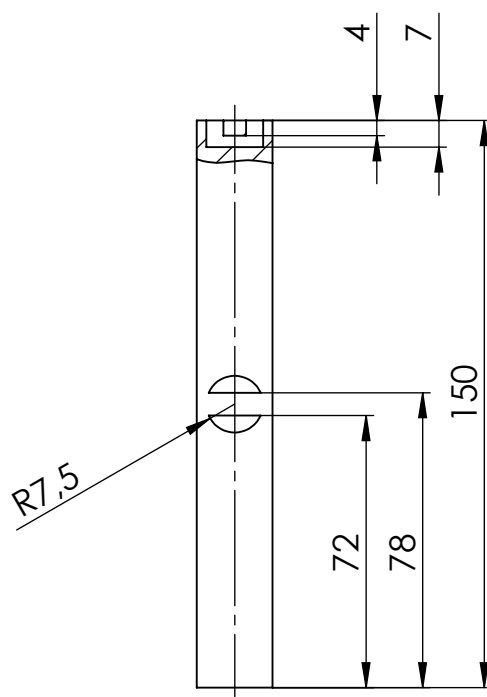
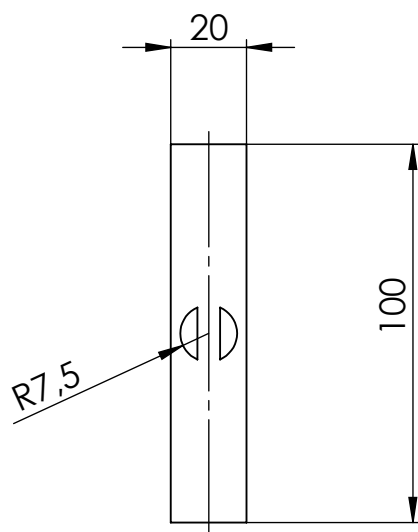


7	Esfera 2	1	4.7
6	Esfera 1	1	4.6
5	Cilindro 3	1	4.5
4	Cilindro 2	1	4.4
3	Cilindro 1	1	4.3
2	Prisma 2	1	4.2
1	Prisma 1	1	4.1
MARCA	DENOMINACIÓN	CANTIDAD	REFERENCIA

 UNIVERSITAT JAUME I	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema:
	Título: <b>Set de Objetos</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>	Formato: <b>A3</b>
			Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:2</b>	Referencia: <b>4.0</b>

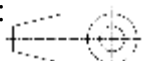






Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema: 



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Prisma 2**

Fecha:  
**2020-04-22**

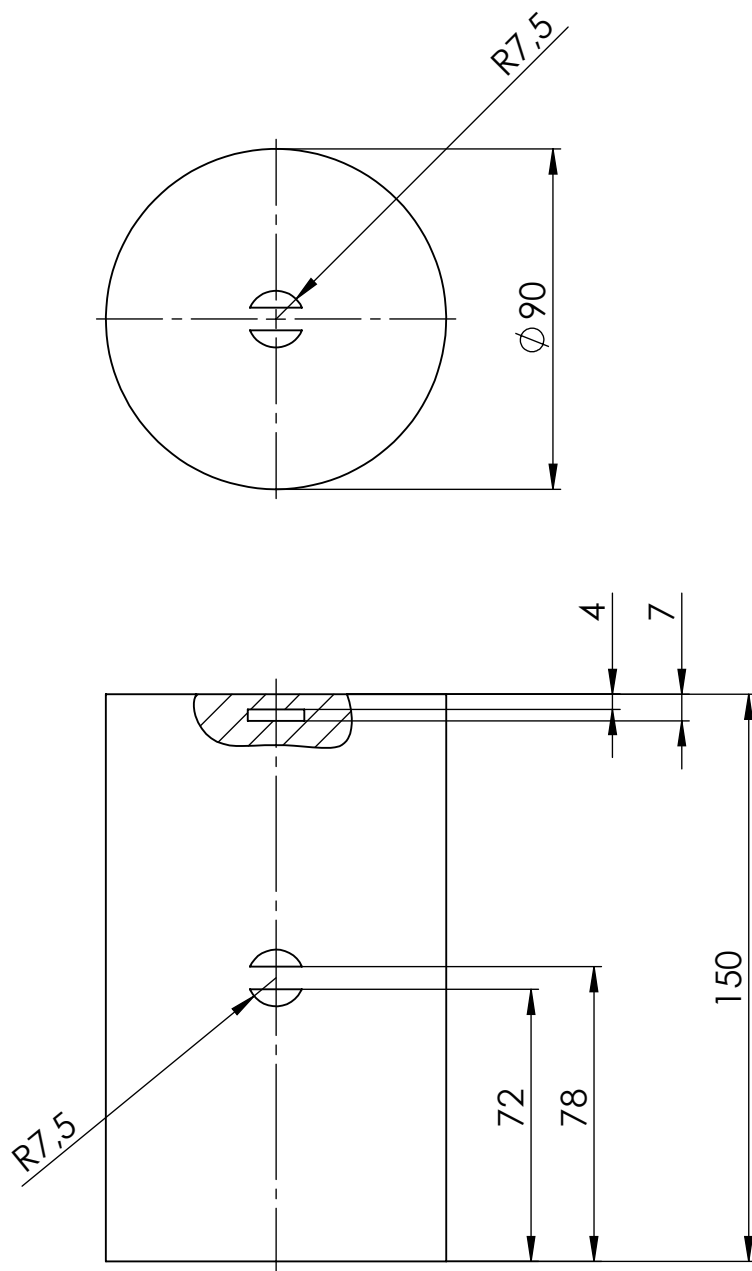
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Referencia:  
**4.2**



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Título:  
**Cilindro 1**

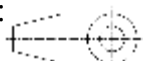
Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Rev.  
**1**

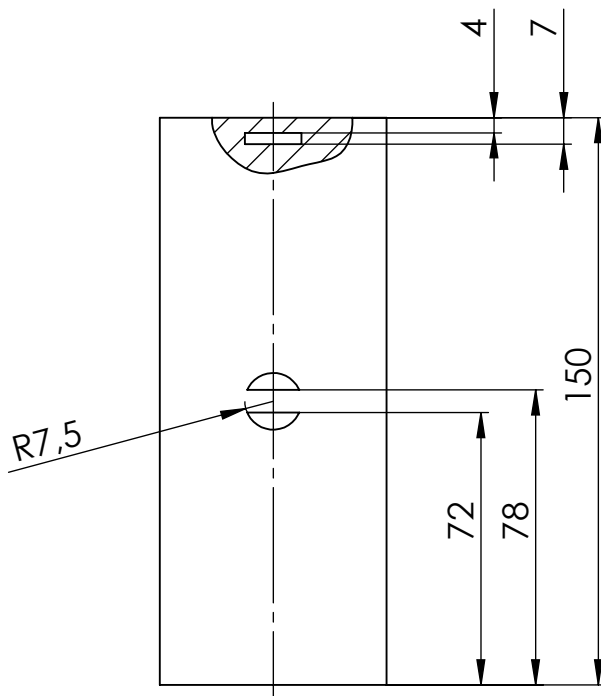
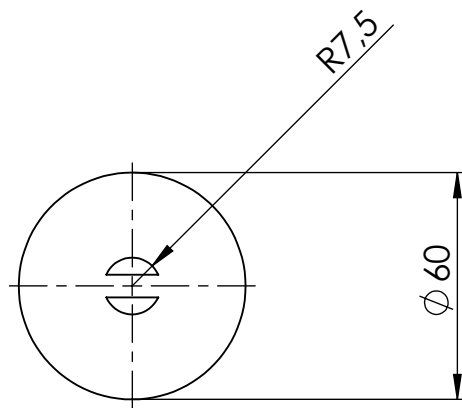
Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Sistema:  


Formato: **A4**

Referencia:  
**4.3**



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Título:  
**Cilindro 2**


Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Fecha:  
**2020-04-22**

Unid. :  
**mm**

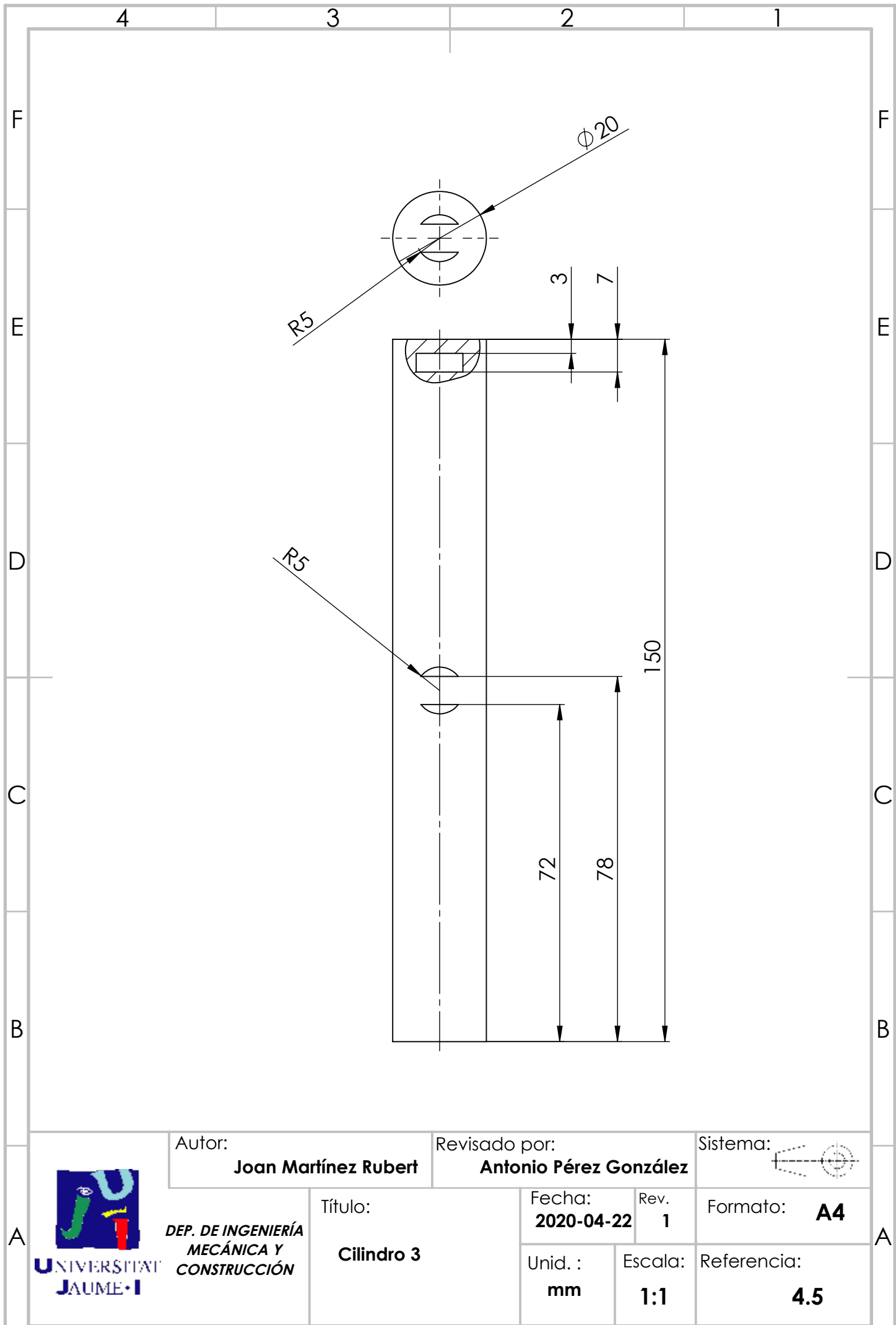
Rev.  
**1**

Escala:  
**1:2**

Sistema:  


Formato: **A4**

Referencia:  
**4.4**



Autor:  
**Joan Martínez Rubert**

Revisado por:  
**Antonio Pérez González**

Sistema:



UNIVERSITAT  
JAUME I

DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Cilindro 3**

Fecha:  
**2020-04-22**

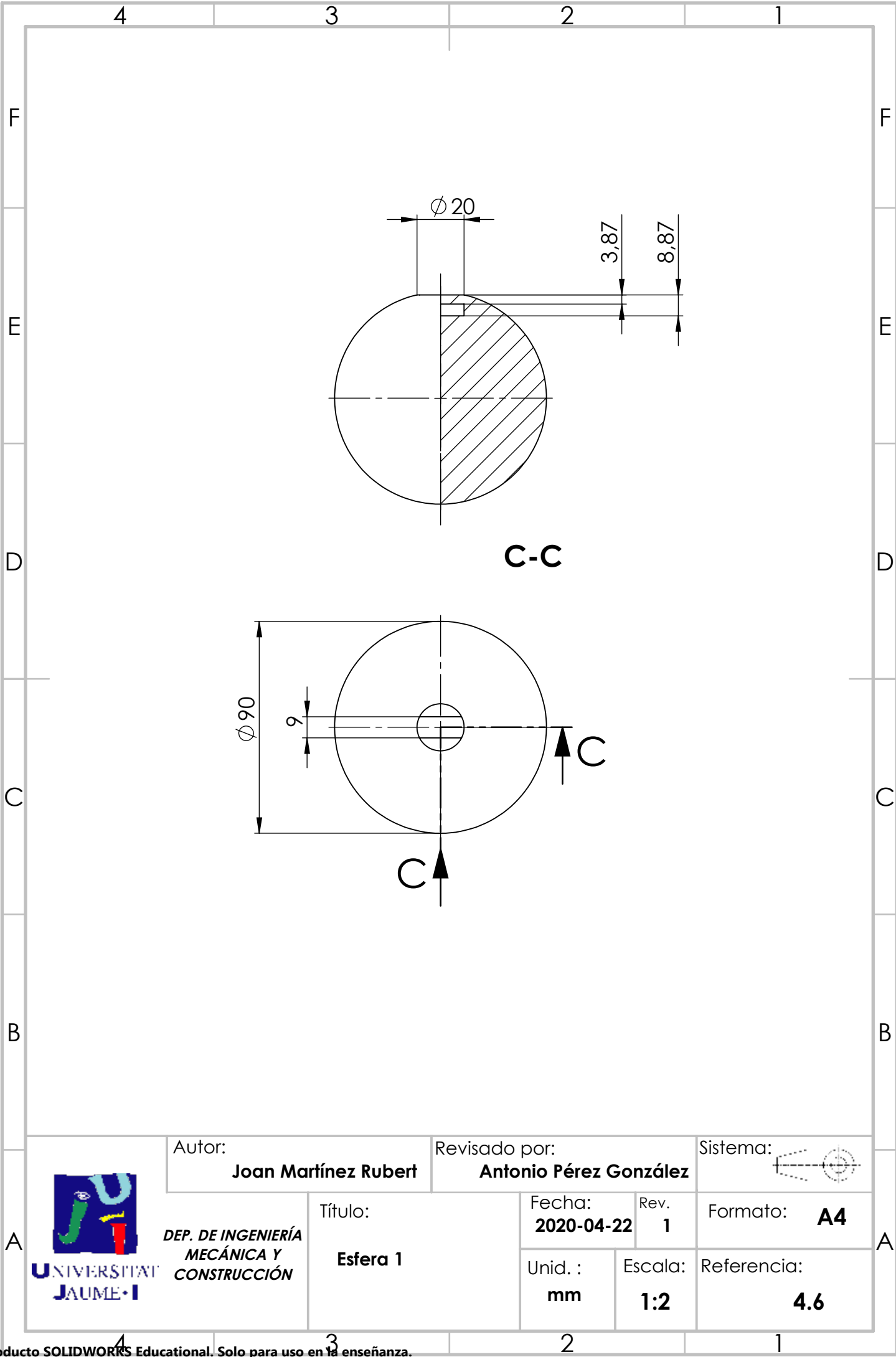
Rev.  
**1**

Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:1**

Referencia:  
**4.5**



Autor: **Joan Martínez Rubert**

Revisado por: **Antonio Pérez González**

Sistema:



DEP. DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y  
CONSTRUCCIÓN

Título:  
**Esfera 1**

Fecha:  
**2020-04-22**

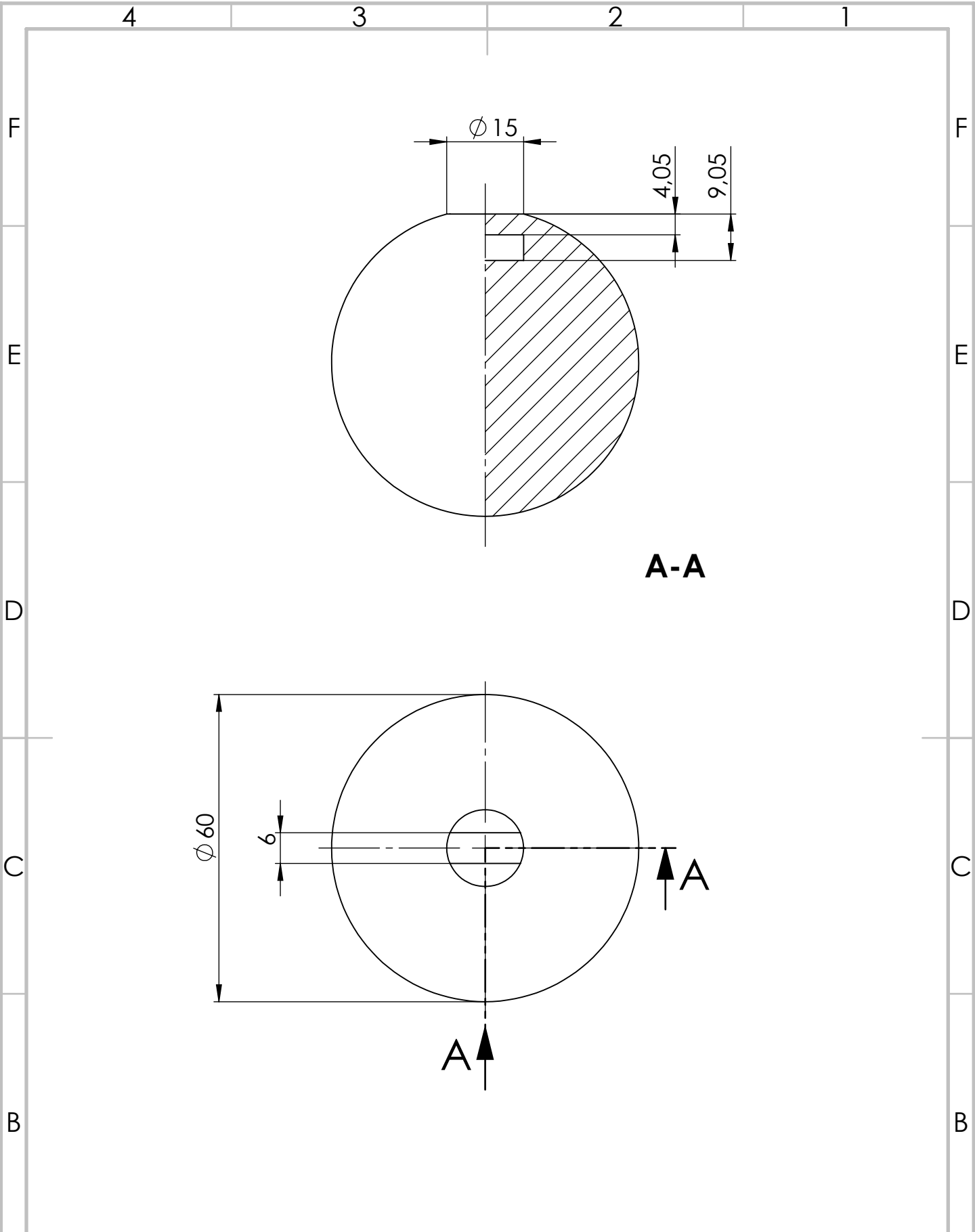
Rev.  
**1**



Formato: **A4**

Unid. :  
**mm**

Escala:  
**1:2**

Referencia:  
**4.6**



 <b>UNIVERSITAT JAUME I</b>	Autor: <b>Joan Martínez Rubert</b>		Revisado por: <b>Antonio Pérez González</b>		Sistema: 	
	DEP. DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN		Título:  <b>Esfera 2</b>		Fecha: <b>2020-04-22</b>	Rev. <b>1</b>
					Formato: <b>A4</b>	
					Unid. : <b>mm</b>	Escala: <b>1:1</b>